

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



Trabajo Fin de Grado

Renovación de las instalaciones frigoríficas de un buque RO-RO

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARINA

Autor: Mario Pérez Santana

Director: Carlos Javier Renedo Estébanez

Junio - 2021

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**Renovación de las instalaciones
frigoríficas de un buque RO-RO**

**Renovation of the refrigeration facilities
of an RO-RO vessel**

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARINA

Junio – 2021

AVISO DE RESPONSABILIDAD:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros, La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado, así como el profesor/a director no son responsables del contenido último de este Trabajo.

ÍNDICE

1.	Planteamiento del problema.....	8
2.	Resumen.....	8
3.	Abstract.....	8
4.	Palabras clave.....	8
5.	Metodología.....	9
5.1.	Objeto del proyecto.....	10
5.2.	Justificación del proyecto.....	10
5.3.	Procedimiento de actuación.....	10
6.	Desarrollo.....	12
6.1	Descripción del buque.....	13
6.1.1.	Planta propulsora.....	13
6.1.2.	Planta de generación eléctrica.....	13
6.1.3.	Grupo de emergencia.....	14
6.1.4.	Sistema de refrigeración.....	14
6.1.5.	Tratamiento de combustible.....	14
6.1.6.	Tratamiento de aceite lubricante.....	14
6.1.7.	Unidad de aire comprimido para el arranque.....	15
6.1.8.	Generación de vapor.....	15
6.1.9.	Sistema de agua sanitaria.....	15
6.1.10.	Sistema de sentinas.....	15
6.1.11.	Sistema de lastre.....	15
6.1.12.	Sistema de aire acondicionado.....	16
6.1.13.	Sistema contra incendios.....	16
6.1.14.	Dispositivos de salvamento.....	16
6.2.	Instalaciones frigoríficas a bordo.....	17
6.2.1.	Descripción de las instalaciones.....	17
6.2.2.	Ciclo de refrigeración por compresión de vapor simple.....	19
6.2.3.	Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.....	20
6.2.4.	Refrigeración mecánica.....	21
6.3.	Componentes de las instalaciones frigoríficas.....	23
6.3.1.	Compresor.....	23
6.3.2.	Evaporador.....	23
6.3.3.	Sistema de expansión.....	24
6.3.4.	Condensador.....	24
6.4.	Componentes gambuzas frigoríficas.....	25
6.5.	Componentes equipo aire acondicionado.....	26
6.6.	Componentes Aire acondicionado sala de máquinas.....	28
6.7.	Elección de refrigerante.....	29
6.8.	Definición de fluido refrigerante o frigorígeno.....	29
6.9.	Denominación de los refrigerantes.....	29
6.10.	Clasificación de los refrigerantes.....	29
6.11.	Clasificación en función de sus efectos sobre la salud y seguridad.....	30
6.11.1	Clasificación en función de su inflamabilidad.....	30
6.11.2.	Clasificación en función de la toxicidad.....	31
6.11.3.	Clases y Grupos de seguridad.....	32
6.11.4.	Clasificación de las mezclas de los refrigerantes en función de sus efectos sobre la salud y la seguridad.....	33
6.12.	Criterios de selección del fluido frigorígeno.....	33

6.13	Características de los refrigerantes elegidos en la instalación.....	35
6.14.	Ficha técnicas de los refrigerantes elegidos.....	36
6.14.1.	Ficha Técnica R507A.....	36
6.14.2.	Ficha Técnica R134a.....	40
6.14.3.	Ficha Técnica R404A.....	44
6.14.4.	Ficha Técnica R409A.....	49
6.15.	Introducción a los cálculos en las instalaciones frigoríficas de un buque RO- Ro.....	51
6.16.	Cálculos de las instalaciones refrigerante R507A.....	52
6.16.1.	Cálculo Gambuzas de congelados R507A.....	52
6.16.1.1.	Simulación de la instalación con SOLKANE	54
6.16.1.2.	Tabla comparativa de cálculos a mano y las simulaciones de SOLKANE.....	56
6.16.2.	Cálculo Gambuzas de frescos R507A.....	57
6.16.2.1.	Simulación de la instalación con SOLKANE.....	59
6.16.2.2.	Tabla comparativa de cálculos a mano y las simulaciones en SOLKANE.....	61
6.16.3.	Cálculo AACC Central del barco R507A.....	62
6.16.3.1.	Simulación de la instalación con SOLKANE.....	64
6.16.3.2.	Tabla comparativa de cálculos a mano y las simulaciones en SOLKANE.....	66
6.16.4.	Cálculo AACC Control de máquinas R507A.....	67
6.16.4.1.	Simulación de la instalación con SOLKANE.....	69
6.16.4.2.	Tabla comparativa de cálculos a mano y las simulaciones en SOLKANE.....	71
6.16.5.	Elección de cálculos.....	71
6.16.6.	Tabla datos SOLKANE del R507A.....	73
6.17.	Simulación con SOLKANE R134a.....	73
6.17.1.	Simulación de gambuzas de congelados.....	73
6.17.2.	Simulación gambuza frescos.....	75
6.17.3.	Simulación AACC central	77
6.17.4.	Simulación de AACC control de máquinas.....	79
6.17.5.	Tabla datos SOLKANE R134a.....	81
6.18.	Simulación con SOLKANE Refrigerante R404A.....	82
6.18.1.	Simulación gambuzas de congelados.....	82
6.18.2.	Simulación gambuza frescos.....	84
6.18.3.	Simulación AACC central.....	86
6.18.4.	Simulación AACC control de máquinas.....	88
6.18.5.	Tabla datos SOLKANE R404A.....	90
6.19.	Simulación con SOLKANE R409A.....	91
6.19.1.	Simulación de gambuzas de congelados	91
6.19.2.	Simulación gambuzas frescos.....	93
6.19.3.	Simulación AACC central.....	95
6.19.4.	Simulación AACC control de máquinas.....	97
6.19.5.	Tabla datos SOLKANE R409A.....	99
6.20.	Tabla comparación de refrigerantes.....	100
6.21.	Elección de refrigerante basada en datos ideales.....	103
6.21.1.	Gambuza de congelados.....	103
6.21.2.	Gambuza de frescos.....	105
6.21.3.	AA/CC central.....	107

6.21.4.	AA/CC control de máquinas.....	110
6.22.	Condiciones de mantenimiento en las instalaciones y operaciones de carga y descarga de refrigerante.....	112
6.23.	Operaciones de mantenimiento Gambuzas.....	112
6.23.1.	Compresor.....	112
6.23.2.	Condensador.....	112
6.23.2.1	Limpieza del condensador	113
6.23.3.	Evaporadores	114
6.23.3.1.	Desencarcho de los evaporadores	114
6.23.4.	Carga de refrigerante.....	115
6.23.4.1.	Carga de refrigerante en fase gaseosa.....	115
6.23.4.2.	Carga de refrigerante en fase líquida.....	115
6.23.5.	Carga de aceite.....	116
6.24.	Operaciones de mantenimiento AA/CC central.....	117
6.24.1.	Unidad compresora.....	117
6.24.2.	Condensador.....	117
6.24.2.1.	Limpieza del condensador.....	118
6.24.3.	Enfriador de agua dulce.....	119
6.24.3.1.	Limpieza del enfriador.....	119
6.24.4.	Carga de refrigerante.....	119
6.24.4.1.	Carga de refrigerante en fase gaseosa.....	119
6.24.4.2.	Carga de refrigerante en fase líquida	120
6.24.5.	Carga de aceite.....	120
6.25.	Operaciones de mantenimiento AA/CC control de máquinas.....	121
6.25.1.	Compresor.....	121
6.25.2.	Condensador.....	122
6.25.2.1.	Limpieza del condensador.....	122
6.25.3.	Evaporadores.....	123
6.25.4.	Carga de refrigerante.....	123
6.25.4.1.	Carga de refrigerante en fase gaseosa.....	123
6.25.4.2.	Carga de refrigerante en fase líquida.....	123
6.25.5.	Carga de aceite.....	123
6.26.	Presupuesto.....	125
6.26.1.	Presupuesto caso 1.....	125
6.26.1.1.	Presupuesto 1 A (Cambio de refrigerante).....	128
6.26.1.2.	Presupuesto 1 B (Cambio de refrigerante y componentes esenciales)..	128
6.26.2.	Presupuesto caso 2.....	129
6.26.3.	Partida de personal y seguridad en el trabajo.....	134
6.27.	Presupuesto final.....	135
7.	Conclusiones.....	136
8.	Bibliografía.....	138
9.	Anexo I Planos instalaciones frigoríficas.....	140

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Introducción

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La naviera propietaria del buque Volcán de Tijarafe propone una mejorar la fiabilidad en los equipos frigoríficos del buque, que cuenta con gambuzas de congelados, gambuzas de frescos, aire acondicionado central del buque y el aire acondicionado de la sala de máquinas. Para ello ha pedido que se realice un estudio comparativo con el refrigerante actual el R507A, comparando los datos característicos y el precio, con los refrigerantes R134a, R404A y R409A, que en principio parecen más apropiados.

2. RESUMEN

El proyecto que se presentar surge tras la colaboración con la empresa “*Naviera Armas*”, durante las prácticas de formación de alumnos de máquinas en el buque *Volcán de Tijarafe*, durante las cuales se propuso la mejora de fiabilidad en los equipos frigoríficos a bordo.

La renovación de las instalaciones frigoríficas de un buque es un proceso que, no solo consiste en cambiar de refrigerante y poner a funcionar la instalación, sino que comprende muchos otros aspectos, como la compatibilidad entre refrigerantes o la legislación vigente.

Este estudio ha demostrado que durante la vida útil del barco se precisa una mínima inversión para conseguir una mejor eficiencia de la instalación y un ahorro de costes.

3. ABSTRACT

This project arises after the collaboration with the company called “*Naviera Armas*”, during the Machine Students training on the *Volcán de Tijarafe*, ship, time when the improvement of the reliability of the refrigeration equipment on board was proposed.

The renewing of a ship’s refrigeration facilities is a process that not only consist of charging the refrigerant and putting the facility into operation but the compatibility between refrigerants or current legislation are very important sections to be consider.

This study has shown that during the useful life of the boat is necessary a small investment, in order to achieve a better installation efficiency and some cost savings

4. PALABRAS CLAVE:

Gambuza, Instalación frigorífica, Potencia frigorífica, COP y Refrigerante.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



5. METODOLOGÍA

5.1. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del proyecto es recalcular mediante el programa SOLKANE las instalaciones frigoríficas del buque RO-RO “Volcán de Tijarafe” para mejorar su fiabilidad, rendimiento y capacidad de estiba, características necesarias para que el buque pueda realizar largas travesías.

5.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Aunque el rendimiento, la capacidad frigorífica y la fiabilidad de las instalaciones Frigoríficas del buque “Volcán de Tijarafe” han disminuido a lo largo de los años, estos parámetros han sido suficientes para dar servicio que le ha sido requerido hasta la fecha.

Esto es debido a que el buque pasa la mayor parte del tiempo en puerto, por lo que se pueden almacenar menor cantidad de alimentos para compensar el decremento del rendimiento y capacidad frigorífica, y en caso de necesidad, se puede tener asistencia técnica inmediata y así compensar la disminución de fiabilidad de la instalación.

El armador del buque tiene pensado en un futuro fletar el buque para realizar travesías mas largas por el Mediterráneo. Estos viajes pueden durar varios días con diversas climatologías, por lo que se requiere una alta fiabilidad ya que las instalaciones tendrán que trabajar en condiciones adversas. También es conveniente poder aprovechar al máximo la capacidad frigorífica y el rendimiento disponible para poder almacenar la máxima cantidad de alimentos, de manera que no afecte a la autonomía del buque.

La instalación actual del buque cumple con la legislación actual en cuanto a contaminación medioambiental y demás restricciones europeas, pero en una entrevista con el jefe de máquinas se detecta que, aunque el actual refrigerante cumple con las expectativas, puede que otro tipo de refrigerante cumpla mejor los requisitos tanto de mejora de rendimientos como de eficiencia.

5.3. PROCECIMIENTO DE ACTUACIÓN

Una vez el armador de la compañía de “Naviera Armas” se pone en contacto con el jefe de máquinas del buque para intentar adecuar las instalaciones para las nuevas travesías.

A partir de ese momento el jefe de máquinas elabora un plan de estudio para presentar a la compañía. En ese plan viene especificado, la toma y recogida de datos, los cálculos que han de realizarse para recalcular las instalaciones, un estudio de la normativa vigente sobre refrigerantes para que el nuevo refrigerante cumpla con ello y un presupuesto final para dar a conocer a la empresa el alcance económico de la inversión, dando diferentes soluciones al problema.

En este caso, el encargado de la toma y recogida de los datos esenciales de las instalaciones, tanto presiones como temperaturas es el alumno de máquinas.

Una vez se obtienen la cantidad de datos suficientes se inicia el cálculo de las instalaciones con el refrigerante actual del buque y se realiza una búsqueda en la legislación actual de los refrigerantes que tengan propiedades similares al refrigerante actual.

Una vez se toma la decisión de con que refrigerantes se va a realizar el estudio, se da comienzo a los cálculos de las instalaciones. Para ello, se utiliza en programa de cálculo SOLKANE de instalación gratuita y donde se obtiene todos los datos característicos de las instalaciones. No obstante, también se realiza cálculos a mano para comparar y comprobar que el programa SOLKANE funciona.

Por falta de datos de rendimientos característicos de los diferentes elementos de las instalaciones los cálculos realizados se basan en el ciclo ideal de refrigeración, considerando que las diferencias con el real afectan por igual a todos los refrigerantes, por lo que su efecto se estima que no es significativo.

Finalmente, tras la tomar la decisión de cuales son las mejores opciones de refrigerante, se elabora no solo un presupuesto con la mejor opción, sino que se analizan varias opciones para que después la empresa tome una decisión.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



6. DESARROLLO

6.1. DESCRIPCIÓN DEL BUQUE

Previamente al estudio de las instalaciones frigoríficas, con este apartado, se va a hacer referencia a todos los sistemas que hay a bordo del buque Volcán de Tijarafe.

Datos del buque:

- IMO: 9398890
- Nombre: Volcán de Tijarafe
- Tipo: Buque de pasaje RO-RO
- Bandera: Española
- Gross tonage: 10333t
- Eslora 154m
- Manga 24 m



Imagen 1. Fuente Propia. Imagen del buque “Volcán de Tijarafe”

6.1.1. Planta propulsora

La planta propulsora la forman dos motores Diesel de cuatro tiempos Wärtsilä 12V46 de 12 cilindros en V, sobrealimentados y preparados para quemar IFO 380, capaces de desarrollar una potencia máxima continua de 11.700 kW a 500rpm cada uno.

6.1.2. Planta generación eléctrica

La planta de generación de corriente eléctrica para las necesidades del buque consta de dos grupos de generadores Diesel formados por motores auxiliares Diesel Wärtsilä 20 de seis cilindros en línea, capaces de desarrollar 1200 kW a 1000 rpm que accionan vía acoplamientos elásticos dos alternadores Leroy Somer de 1350 kVA, 400 V a 50Hz. También posee dos alternadores de cola Leroy Somer de 1500 kVA, 400 V, 50 Hz a 1000 rpm, accionados por tomas de fuerza de las reductoras capaces de desarrollar 1080 kW.

6.1.3. Grupo de emergencia

El grupo de emergencia se encuentra situado en la cubierta 9, fuera de la sala de máquinas, compuesto por un motor Diesel Volvo-Penta de 292 kW a 1500 rpm, conectado mediante acoplamiento a un alternador Leroy Somer de 250 kW, 400 V y 50 Hz.

6.1.4. Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración centralizado lo constituyen, para el servicio de alta temperatura, dos electrobombas con un caudal de 270 m³/h a 2 bar cada una, como reserva de las bombas acopladas de los motores, y para el servicio de baja temperatura:

- Dos electrobombas de 270 m³/h a 2 bar cada una, como reserva de las bombas acopladas.
- Tres electrobombas de 65 m³/h a 2,5 bar para servicios auxiliares.
- Tres enfriadores centrales de placas de titanio dimensionados para satisfacer el 100% de las necesidades

El sistema de circulación de agua salada está formado por:

- Tres electrobombas para los enfriadores centrales, de 570 m³/h a 3 bar.
- Dos electrobombas para los generadores de agua dulce. Caudal de 40 m³/h a 4 bar.
- Dos electrobombas para el condensador atmosférico. Caudal de 125 m³/h a 3 bar.
- Tres electrobombas para el aire acondicionado, con caudal de 120 m³/h, cada una.
- Una electrobomba para el aire acondicionado del control. Caudal 10 m³/h.
- Dos electrobombas para el equipo frigorífico de gambuzas, de 4 m³/h.

6.1.5. Tratamiento de combustible

La planta de tratamiento y purificación de combustible y de aceite lubricante de los motores principales y grupos auxiliares está comprendida por dos módulos triples

- Dos separadoras centrífugas Alfa Laval SA 851 para fuel-oil, de 4 m³/h, cada una.
- Una electrobomba de trasiego de fuel-oil, de 30 m³/h a 2 bar.
- Una separadora centrífuga Alfa Laval PA 605 para Diesel, de 1 m³/h de capacidad.
- Una electrobomba de trasiego de Diesel-oil de 30 m³/h a 2 bar.

6.1.6. Tratamiento del aceite lubricante:

- Dos separadoras centrífugas Alfa Laval SA 841 para el servicio de los motores principales, con capacidad de 2,5 m³/h, cada una.
- Una separadora centrífuga Alfa Laval PA 605 para el servicio de los motores auxiliares, con capacidad de 1 m³/h.
- Una electrobomba de lodos de 8 m³/h a 4 bar.
- Una electrobomba para el trasiego de aceite de 10 m³/h a 4 bar.
- Dos electrobombas de prelubricación de 65 m³/h a 0,8 bar.

- Dos bombas de reserva para los motores principales de 210 m³/h a 8 bar.

6.1.7. La unidad de aire comprimido para el arranque

Está formada por:

- Dos compresores de aire Sauer de dos etapas y dos cilindros, para los motores principales, de 66 m³/h a 30 bar.
- Dos botellas de aire para el motor principal, de 2000 litros a 30 bar.
- Una botella de aire para el arranque de los grupos auxiliares de 250 litros a 30 bar.
- Dos botellas de aire de control de 125 litros a 7 bar, con su compresor Mark.

6.1.8. Generación de vapor

La generación de vapor viene suministrada por los siguientes equipos:

- Una caldera horizontal, pirotubular, de mechero para fuel/Diesel, con capacidad para producir 1500 kg/h de vapor a 7 bar, proporcionada por Aalborg Industries.
- Dos calderas de exhaustación pirotubulares verticales de Aalborg Industries, con capacidad para producir 1000 kg/h de vapor a 7 bar, cada una.
- Un condensador atmosférico, o recuperador de vapor.
- Dos electrobombas para la alimentación de la caldera horizontal de mechero con un caudal de 2,5 m³/h.
- Cuatro electrobombas de circulación para las calderas de recuperación de gases con una capacidad de 3 m³/h.

6.1.9. El sistema de agua sanitaria

Compuesto por los siguientes equipos:

- Dos generadores de agua dulce Gefico AQUAMAR AQ-16, con capacidad para 16 ton/día.
- Un tanque hidróforo de 1000 litros.
- Dos electrobombas de circulación de agua dulce sanitaria de 12 m³/h a 6 bar.
- Dos calentadores eléctricos de 200 litros de capacidad unitaria. También se calientan mediante el servicio de vapor.
- Dos electrobombas de circulación de agua destilada de 1 m³/h a 4 bar.

6.1.10. El sistema de sentinas

Formado por:

- 3 electrobombas centrífugas de 130 m³/h a 2 bar
- Un separador de sentinas RWO de 5 m³/h.

6.1.11. El sistema de lastre

Compuesto por dos electrobombas de 150 m³/h a 2 bar y un módulo de accionamiento a distancia de las válvulas.

6.1.12. El sistema de aire acondicionado

Formado por tres módulos con compresores de 75 kW, con sus correspondientes motores eléctricos.

Dispone de climatizadores y humidificadores repartidos por las diferentes áreas del buque. La instalación aporta el 70 % del caudal, siendo la cantidad de aire recirculado del 30 %. En la cabina de control se ha instalado una unidad climatizadora autónoma.

6.1.13. El sistema contra incendios

Consta de los siguientes equipos:

- Dos electrobombas de 90 m³/h a 8 bar.
- Un grupo de presión con electrobomba de 6 m³/h a 9 bar.
- Una electrobomba de emergencia de 40 m³/h a 7 bar.
- Un sistema de extinción para la máquina con 48 botellas de 45 kg de CO 2.
- Un sistema de extinción por rociadores de garaje (drencher), formado por, dos electrobombas de 165 m³/h a 8 bar y 526 rociadores distribuidos en 15 secciones a lo largo de la zona de carga.
- Un sistema de extinción por rociadores (sprinklers) en la zona de habilitación, formado por, una electrobomba de 100 m³/h a 8 bar y 616 rociadores distribuidos en 12 secciones.
- Sistema de extinción por agua nebulizada Flexifog en cámara de máquinas, para los motores auxiliares, motores principales, caldera de mechero, módulos de purificación de combustible y aceite lubricante, suministrado por Heien-Larsen.
- Un sistema independiente para el conducto de extracción de la campana de la cocina.
- Sistema de circuito cerrado de TV.

El buque dispone de cuatro puertas de corredera estancas al agua y de accionamiento hidráulico, situadas entre la planta séptica y la gambuza; entre la cámara de los grupos auxiliares y la cámara de motores principales; entre la cámara de los grupos auxiliares y el local del aire acondicionado y pañol; y entre la cámara de los motores principales y depuradoras y módulos de combustible.

El sistema de accionamiento tiene un mando local manual, otro en el tronco de escaleras de la máquina y otro desde el panel instalado en el puente de gobierno, sólo de cierre.

6.1.14. Los dispositivos de salvamento

Disponen de los siguientes equipos:

- Cuatro botes salvavidas con capacidad para 150 personas cada uno, con sus respectivos pescantes deslizantes.
- Cuatro balsas salvavidas, dos para 25 personas y otras dos para 50 personas.
- Ocho balsas salvavidas con capacidad para 100 personas cada una.
- Un bote de rescate rápido en estribor, con su equipo de puesta a.

- Un bote de rescate, con equipo de puesta a flote.
- Un medio de rescate MOR asociado a la maniobra del equipo de puesta a flote del bote de rescate rápido.
- Cuatro sistemas de evacuación MES (Marine Evacuation System), mediante tubos situados en cuatro compartimentos repartidos estratégicamente en la cubierta nº 6, permitiendo la evacuación en 30 minutos. Cada MES consiste en un tubo que despliega una balsa salvavidas autoadrizable VIKING 100 DKS incorporada, con capacidad para 175 personas.

6.2.INSTALACIONES FRIGORÍFICAS A BORDO

Las instalaciones frigoríficas a bordo son: Gambuzas, aire acondicionado central y aire acondicionado cabina de máquinas.

6.2.1. Descripción de las instalaciones

GAMBUZAS FRIGORÍFICAS:

El equipo frigorífico elegido para atender los cinco recintos que componen las gambuzas frigoríficas, se ha ideado para cumplir con las dos condiciones más desfavorables que nos marcan el trabajo normal de este tipo de buques.

Partiendo de la secuencia lógica de explotación del buque, se tienen tres parámetros perfectamente definidos con los que se necesita cumplir:

- 1- Diferentes temperaturas en cada uno de los espacios frigoríficos. Ello nos obliga a dos temperaturas de evaporación diferentes.
- 2- Diferentes cargas térmicas entre la salida del buque de puerto y navegación. Cuando el buque sale de puerto acopia gran cantidad de víveres que debe enfriar rápidamente, mientras que cuando está en navegación sólo necesita mantenerlos fríos o congelados, según la gambuza.
- 3- Necesidad de disponer de una reserva para casos de avería y/o reparación de uno de los equipos.

Para cumplir con estos tres puntos se ha diseñado una instalación frigorífica en la que se combinan adecuadamente los elementos principales permiten absorber las diferencias de cargas térmicas según el momento y se reserva uno para casos de emergencia.

Para ello se han instalado tres compresores idénticos en paralelo.

En el circuito de alta presión se han dispuesto dos condensadores, enfriados por agua de mar.

EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO

El aire acondicionado en un buque de pasaje es uno de los puntos más importantes a tener en cuenta. Se ha diseñado un sistema centralizado para la producción de agua fría y climatizadores por zonas según descripción.

En los locales destinados para los equipos de aire acondicionado se encuentra instalada la siguiente maquinaria

- Climatizadores
- Humidificadores
- Ventiladores de extracción
- Cuadros eléctricos para el control de climatizadores de zonas

En la sala de máquinas se encuentra instalada la siguiente maquinaria

- Unidades enfriadoras de agua
- Grupos motobomba para la circulación en un circuito cerrado de agua dulce
- Depósito de agua dulce para equilibrado e inercia del agua en circulación.

El sistema de regulación de temperatura está previsto de la siguiente forma:

- Válvulas de tres vías reguladas por medio de sondas en conducto para conseguir la temperatura adecuada en cada zona
- Sistema comandado desde el puente de mando, que permite modificar las señales de consigna de los diferentes climatizadores.

El sistema de distribución de aire está provisto de la siguiente forma:

1. Impulsión: conductos de chapa galvanizada aislados, de diámetros adecuados.
2. Retorno: conducto sin aislar de chapa galvanizada de diámetros adecuados.
3. En las zonas donde, por la amplitud de espacio disponible sea necesario, se instalarán conductos especiales conforma y longitud según proceda

SALA DE MÁQUINAS

El equipo frigorífico elegido para atender la cabina de control de máquinas se ha indicado para cumplir dos condiciones mas desfavorables que marcan el trabajo normal del equipo.

Partiendo de las cargas térmicas a disipar se ha proyectado una unidad condensadora capaz de disipar dichas cargas, mediante en empleo de un evaporador.

En el circuito de alta presión de han dispuesto un condensador enfriado por medio de circulación de agua forzada.

6.2.2. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor simple

Según el Primer Principio de la Termodinámica (PPT) el calor se transfiere de un foco de alta temperatura a otro foco de menor temperatura.

Cuando se tiene que refrigerar un recinto que se encuentra a la misma o menos temperatura que el exterior, a primera vista no parece posible, ya que es ir en contra de dicho principio

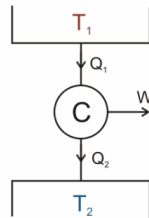
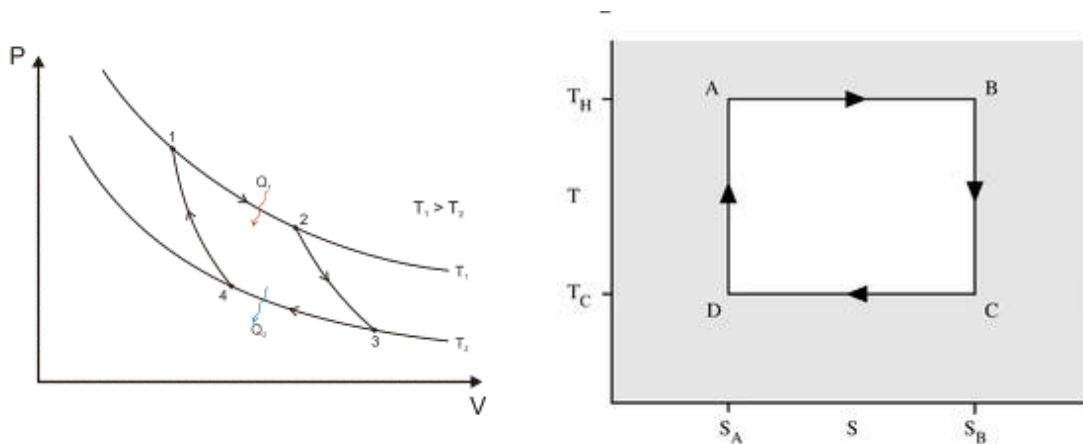


Imagen 2. obtenida de:

<http://www.termosistemas.com.ar/sitio/vernota.php?nota=218&cat=1>

Los ciclos de refrigeración utilizan las propiedades termodinámicas de las sustancias para poder transportar el calor del foco frío al foco caliente, son máquinas térmicas y se fundamentan en el ciclo de Carnot.



1. Diagrama del ciclo de Carnot en función de la presión y el volumen.
2. Diagrama del ciclo de Carnot en función de la temperatura y la entropía.

Imagen 3. Obtenidos de:

<http://www.termosistemas.com.ar/sitio/vernota.php?nota=218&cat=1>

Un ciclo de Carnot es un proceso cíclico reversible donde un motor térmico ideal toma calor de un foco caliente, lo cede a un foco frío y en el proceso genera un trabajo.

Consta de cuatro procesos termodinámicos, dos isoterms y dos adiabáticos, realizados por un gas ideal:

- Proceso 1-2: Expansión isoterma donde en el punto 1 se tiene un gas a alta temperatura y un volumen mínimo, el gas se expande y tiende a enfriarse, pero como a la vez absorbe calor de la fuente caliente, se mantiene constante su temperatura. Al tratarse de un gas ideal y no cambiar su temperatura tampoco lo hace su energía interna. Al producirse transferencia de calor hacia el sistema aumenta la entropía del sistema.
- Proceso 2-3: Expansión adiabática, el sistema se aísla térmicamente y no transfiere calor con el exterior. Durante la expansión el gas se enfría hasta la temperatura T_2 , disminuyendo su energía interna y alcanzando su volumen máximo. Al no haber transferencia de calor la entropía permanece constante.
- Proceso 3-4: Compresión isoterma donde el gas comienza a comprimirse, pero no aumenta su temperatura porque cede calor a la fuente fría. Al ser una isoterma su energía interna se mantiene constante y al ceder calor su entropía disminuye.
- Proceso 4-1: Compresión adiabática, el sistema termina de comprimirse y aumenta su temperatura hasta la del punto inicial, aumentando la energía interna. Como no absorbe calor, hay que comunicar un trabajo al sistema para realizar la compresión

Los teoremas de Carnot dicen:

- No puede existir una máquina térmica que funcionando entre dos fuentes térmicas dadas tenga mayor rendimiento que una de Carnot que funcione entre esas mismas fuentes térmicas.
- Dos máquinas reversibles operando entre las mismas fuentes térmicas tienen el mismo rendimiento.

6.2.3. Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

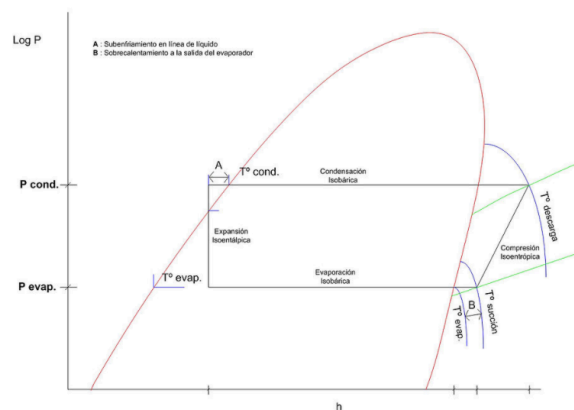


Imagen 4 obtenida de:

https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci3n_por_compresi3n#/media/Archivo:Ph_simpl_e_etapa.jpg

Un ciclo de refrigeración por compresión de vapor se basa en un ciclo de Carnot inverso y en los cambios de fase de un líquido que circula en circuito cerrado por dentro de la instalación.

El ciclo ideal está formado por cuatro procesos:

- Proceso 1-2: Condensación isobárica, el fluido acaba de sufrir una compresión y se encuentra a alta temperatura y alta presión. Cede calor al condensador, cediendo el calor latente y pasando de fase gas a fase líquida. Al ceder calor disminuye la entropía, el volumen específico y la temperatura.
- Proceso 2-3: Expansión adiabática, el fluido llega a un sistema de expansión y se expansiona sin ceder calor al exterior. Fijándose, en el punto dos el fluido es líquido subenfriado y al expansionarse le corresponde ser vapor húmedo a menor temperatura, punto tres. Una parte del líquido subenfriado se evapora absorbiendo calor del propio líquido que se encuentra a su alrededor, bajando así la temperatura del conjunto y generándose el vapor correspondiente a su nuevo estado.
- Proceso 3-4: Evaporación isobárica, el vapor húmedo del punto tres a baja temperatura absorbe calor en el evaporador, aumentando su entalpía y por tanto su entropía. En el evaporador el fluido sufre un nuevo cambio de fase de líquido a vapor.
- Proceso 4-1: Compresión isentrópica, por medio de un compresor se comprime el gas a entropía constante, aumentando su presión, temperatura y entalpía.

En el diagrama aparecen marcadas dos zonas la A y la B, que son el subenfriamiento de líquido y el recalentamiento de vapor respectivamente.

6.2.4. Refrigeración mecánica

Refrigeración es el proceso de bajar la temperatura de un cuerpo por debajo de la atmósfera que le rodea. El cuerpo que absorbe el calor, está a una temperatura inferior que la del cuerpo que le cede. El calor extraído del cuerpo que está siendo enfriado por el refrigerante, debe ser trasladado y entregado a un nivel superior de donde procede. Si se va a mantener la temperatura baja del cuerpo enfriado, éste debe rodearse de un material aislante de forma que el calor no pueda volver a él, al menos con facilidad.

El cometido del refrigerante es absorber calor de un cuerpo frío y cederlo a otro cuyo nivel térmico es superior.

En los líquidos refrigerantes se cumple la ley de correspondencias entre temperatura y presión.

Quiere esto decir que a cada temperatura de almacenamiento corresponde una presión determinada o viceversa. Este es el principio de la refrigeración mecánica.

Cuando se eleva la temperatura de un líquido refrigerante hasta su punto de ebullición, pueden coexistir juntos el líquido y su vapor. Este estado se llama saturado. El vapor que contiene partículas de líquido se llama saturado húmedo.

Si el vapor saturado no tiene ninguna partícula líquida, se llama saturado seco. Cuando se eleva la temperatura de vapor por encima de su temperatura de saturación, se convierte en recalentado y se llama vapor recalentado.

En refrigeración se utilizan líquidos con bajo punto de ebullición. Los líquidos que cambian a vapor después de absorbido calor se llaman refrigerantes primarios. A la salmuera, el aire o el agua fría, que actúan como transportadores de calor se les llama refrigerantes secundarios.

En un ciclo de refrigeración mecánica, el fin básico perseguido es extraer calor de un espacio o fuente y entregar este calor en otra zona o medio. Como se ha indicado anteriormente, el calor sólo fluye de forma natural desde una fuente caliente a un medio o zona más fría. Cuando se quiere extraer calor de una zona y entregarlo a otra de mayor temperatura, se utiliza un sistema de refrigeración.

Para conseguir esto, se recurre a un fluido (refrigerante) adecuado. Este fluido se evapora absorbiendo calor a temperatura suficientemente baja y condensa arrojando el calor a una temperatura suficientemente alta. En el sistema frigorífico que se describe este trabajo, se emplea como refrigerante el R507A. Se le llama refrigerante primario y enfría el aire que recircula por los espacios frigoríficos.

Generalmente, una planta frigorífica por compresión consiste en cuatro partes principales: El compresor frigorífico, el condensador, los dispositivos de control y el evaporador. Todas estas partes se comunican por tuberías entre sí.

La planta frigorífica funciona:

- El compresor aspira el refrigerante gaseoso a baja presión y temperatura del evaporador y lo comprime; el refrigerante se descarga después a presión y temperatura más elevadas en el condensador.
- El condensador Se puede enfriar por aire o agua. El agua o aire absorbe del refrigerante gaseoso el calor recogido del evaporador y el calor añadido por la compresión del gas. El refrigerante gaseoso se enfría, se condensa y se acumula en el depósito de refrigerante líquido. Desde este depósito el líquido es conducido al evaporador por la válvula de expansión.
- La válvula de expansión es un dispositivo que controla la cantidad de flujo del refrigerante que pasa del condensador al evaporador, reduciendo un líquido caliente a alta presión al entrar, a un líquido frío a baja presión al salir. Dicha válvula es del tipo automático, regulada por la temperatura del evaporador.
- El evaporador recibe el refrigerante en parte líquido y en parte gaseoso. Aquí se evapora debido al calor absorbido del producto a refrigerar. El compresor succiona el gas así formado y vuelve a empezar el ciclo de la instalación frigorífica

6.3. COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES FRIGORÍFICAS

Los componentes básicos de una instalación frigoríficas son:

- Compresor
- Evaporador
- Válvula de expansión
- Condensador

6.3.1. Compresor

El compresor es el encargado de mover el caudal necesario de refrigerante por la instalación para extraer el calor de las cámaras.

El caudal necesario en la instalación se determina por medio de la potencia frigorífica de las cámaras y la producción frigorífica neta del refrigerante. El compresor de la instalación es de tipo abierto alternativo, de funcionamiento sencillo y fácil de reparar.

Las características constructivas del compresor establecen el volumen de refrigerante que es capaz de mover el compresor por unidad de tiempo:

- La cilindrada del compresor, a mayor cilindrada mayor volumen desplazado, pero también aumenta el tamaño y por tanto el coste.
- La velocidad de giro del compresor, a mayor velocidad mayor volumen barrido, pero aumenta el consumo del motor eléctrico y su mantenimiento.

Este volumen desplazado se denomina volumen de barrido y es el caudal teórico que el compresor puede mover.

Sin embargo, el fluido refrigerante aspirado se encuentra en fase gas y dependiendo del volumen específico que tenga, el compresor moverá más o menos refrigerante.

Cuanto mayor sea el volumen específico del gas a la entrada del compresor menor será la cantidad de gas que mueve el compresor.

6.3.2. Evaporador

El evaporador es el equipo encargado de extraer el calor de la cámara a refrigerar.

Se trata de un intercambiador de calor donde el aire de la cámara cede calor al fluido refrigerante que circula por su interior.

El calor de la cámara se transmite a la superficie exterior del evaporador y debe pasar por convección a través de las aletas del evaporador al fluido refrigerante.

6.3.3. Sistema de expansión

El sistema de expansión es el encargado de generar una caída brusca de presión sin intercambio de calor con el exterior.

El sistema de expansión debe generar dicha caída de presión permitiendo que circule el caudal de refrigerante necesario con las presiones de condensación y evaporación previstas.

La caída de presión se genera a través de un orificio del sistema de expansión que une la zona de líquido a alta presión y la zona de vapor húmedo a baja presión en el evaporador.

6.3.4. Condensador

Un condensador es un intercambiador de calor donde el fluido refrigerante en fase gas a alta presión y temperatura cede calor a un fluido refrigerador, quedando el fluido refrigerante en fase líquida a alta presión.

El condensador debe ser capaz de eliminar el calor que absorbe el fluido refrigerante en el evaporador, el calor generado en el trabajo de compresión y el calor necesario para subenfriar el líquido refrigerante.

La selección del condensador se debe hacer mediante los catálogos de los fabricantes, considerando, como en los otros elementos de la instalación, los factores de corrección de la potencia en función de las condiciones de funcionamiento.

6.4.COMPONENTES GAMBUZAS FRIGORÍFICAS

Los elementos principales de la instalación de gambuzas son los siguientes:

Elemento	Marca	Modelo	Unidades en planta
Compresor	BITZER	IV Tipo Alternativo abierto	3
Condensador	INTEGASA	CFB-11-10-2/6	2
Evaporador gambuza de congelados pasaje	FRIMETAL	MVG-80	1
Termostática gambuza de congelados pasaje	DANFOSS	TES-2	1
Evaporador gambuza congelados tripulación	FRIMETAL	MVP-64	1
Termostática gambuza de congelados tripulación	DANFOSS	TES-2	1
Evaporador gambuza de vegetales y frescos pasaje	FRIMETAL	MVG-80	1
Termostática gambuza de vegetales y frescos pasaje	DANFOSS	TES-2	1
Evaporador gambuza de vegetales y frescos tripulación	FRIMETAL	MVP-64	1
Termostática gambuza de vegetales y frescos tripulación	DANFOSS	TES-2	1
Evaporador gambuza seca	FRIMETAL	MVG-120	1
Termostática gambuza seca	DANFOSS	TES-2	1
Válvula de presión constante gambuzas de frescos	DANFOSS	KVP 15	3
Termostátos	DANFOSS	EKC-201	5
Presostáto de baja	DANFOSS	KP-1	3
Presostáto de alta	DANFOSS	KP-5	3

Tabla 1, Fuente propia. Componentes de las Gambuzas frigoríficas.



Imagen 4, Fuente propia. Instalación Frigorífica de las Gambuzas.

6.5.COMPONENTES EQUIPO AIRE ACONDICIONADO CENTRAL

El sistema de aire acondicionado dispone de tres plantas enfriadores de agua dulce para dar servicio distintos climatizadores.

Cada una de las plantas es para el 50% de la capacidad total requerida. Las unidades son totalmente independientes unas de otras.

Cada una de las unidades está constituida por los siguientes elementos

Elemento	Marca	Modelo	Cantidad
Compresor	BITZER	OSK-7471-K-Y	2
Condensador	INTEGASA	HACD-16-250-2	1
Enfriador	INTEGASA	PTR-45-25-4P-2C	1
Cuerpo válvulas de expansión	DANFOSS	AKV 20-4	2
Termostato	DANFOSS	EKC 201	3
Sensor de presión	DANFOSS	AKS 33	1
Sensor de temperatura	DANFOSS	AKS 11	2

Tabla 2, Fuente propia. Componentes del AA/CC central.

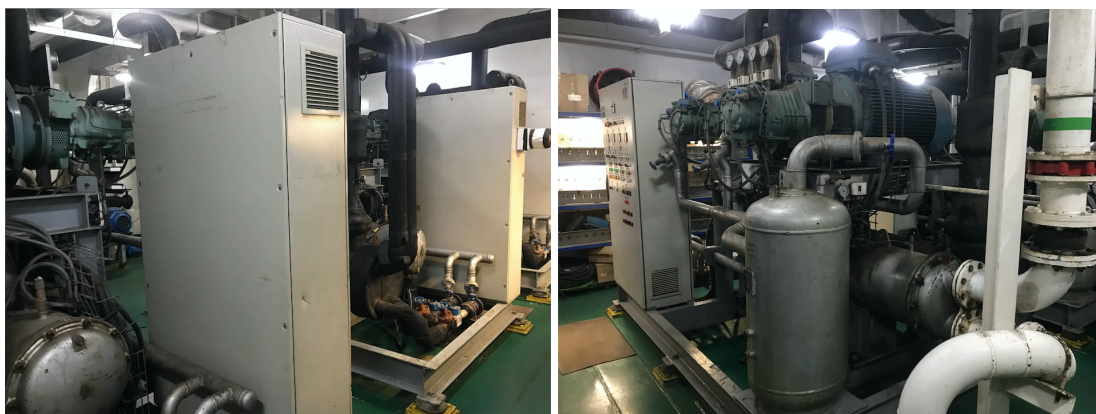


Imagen 5 y 6. Fuente propia. Instalación del AA/CC central

- Unidades climatizadoras

Las unidades climatizador has instaladas, así como de sus características pueden verse a continuación.

Elemento	Marca	Modelo	Zona atendida
Climatizador N°1	Termoven, s.a.	CL-2012/1-A	Puente de mando
Climatizador N°2	Termoven, s.a.	CL-2018/2-AE	Cubierta 7 proa: Enfermería, oficina, comedor y salones tripulación.
Climatizador N°3	Termoven, s.a.	CL-2020/3-AE	Cubierta 6 proa: Camarotes pasaje y hall
Climatizador N°4	Termoven, s.a.	CL-2025/2-A	Cubierta 6 centro: Cafetería y salones de butacas
Climatizador N°5	Termoven, s.a.	CL-2012/1-A	Cubierta 7 popa: Salones de butacas y baños
Climatizador N°6	Termoven, s.a.	CL-2012/1-A	Cubierta 6 y 7: Pasillos y baños
Climatizador N°7	Termoven, s.a.	CL-2018/2-AE	Cubierta 7 popa: Salón de butacas y salón bar
Climatizador N°8	Termoven, s.a.	CL-2020/2-AE	Cubierta 6 popa: Salón de butacas, salón bar, guardería, juegos recreativos, oficina y recepción.

Tabla 3, Fuente propia. Componentes y Unidades climatizadoras.

6.6.COMPONENTES AIRE ACONDICIONADO CONTROL DE MÁQUINAS

Para conseguir seguridad en el funcionamiento del conjunto, se ha dotado los elementos principales necesarios para un correcto funcionamiento.

Elemento	Marca	Modelo	Unidades en planta
Compresor	BITZER	4 DC- 7.2Y	1
Condensador	INTEGASA	11-24-4/61	1
Presostato de baja	DANFOSS	KP-1	1
Presostato de alta	DANFOSS	KP-5	1
Válvula presión constante	DANFOSS	KVP-35	1

Tabla 4, Fuente propia. Componentes del AA/CC control de máquinas



Imagen 7. Fuente propia. Instalación del AA/CC Control de máquinas.

6.7. ELECCIÓN DEL REFRIGERANTE

Para la elección de los refrigerantes a analizar en el estudio, se ha llevado a cabo una investigación sobre la legislación actual de refrigerantes realizando búsqueda tanto en el BOE y libros de refrigeración.

6.8.DEFINICIÓN DEL FLUIDO REFRIGERANTE O FRIGORÍGENO

Según el (Reglamento de seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas , 2019), la definición de un fluido refrigerante es,

“Fluido utilizado en la transmisión de calor que, en un sistema frigorífico, absorbe calor a bajas temperaturas y presión, cediéndolo a temperatura y presión mas elevadas, experimentando cambios de estado durante el proceso.”

6.9.DENOMINACIÓN DE LOS REFRIGERANTES

Según el (Real Decreto 552/2019, 2019), la denominación de los refrigerantes es,

“Los refrigerantes se denominarán o expresarán por su fórmula o por su denominación química o, si procede, por su denominación simbólico alfanumérica, no siendo suficiente, en ningún caso, su nombre comercial.”

6.10. CLASIFICACIÓN DE LOS REFRIGERANTES

Según el (Trueba), la clasificación de los refrigerantes es,

Los fluidos frigoríficos se dividen en dos grupos:

- Primarios o fluidos frigorígenos: donde la transferencia de calor se realiza en forma de calor latente (energía calorífica absorbida por una sustancia al cambio de estado).
- Secundarios o fluidos frigorígenos: donde la transferencia de calor se realiza en forma de calor sensible (energía calorífica aplicada a una sustancia que hace subir su temperatura sin cambio de estado).

Según la composición química, los fluidos frigorígenos pueden ser:

- Orgánicos: hidrocarburos y derivados oxigenados, nitrogenados o halogenados
- Inorgánicos: no provienen de los hidrocarburos (amoníaco, agua, CO2).

6.11. CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS EFECTOS SOBRE LA SALUD Y SEGURIDAD

Según el (Real Decreto 552/2019, 2019), la clasificación de los refrigerantes en función de los efectos sobre la salud es,

“Los refrigerantes se clasifican de acuerdo con su inflamabilidad y su toxicidad.”

6.11.1. Clasificación en función de su inflamabilidad.

Según el (Real Decreto 552/2019, 2019), la clasificación en función de la inflamabilidad de los refrigerantes es,

“Los refrigerantes deberán incluirse dentro de una de las tres categorías, 1, 2 y 3 basándose en lo siguiente:”

CATEGORÍA 1:

Según el (Real Decreto 552/2019, 2019), la categoría 1 de clasificación de los refrigerantes en función de su inflamabilidad es,

“Refrigerantes que no muestran propagación de llama cuando se ensayan a +60 °C y 101,3 kPa.”

CATEGORÍA 2:

Según el (Real Decreto 552/2019, 2019), la categoría 2 de clasificación de los refrigerantes en función de su inflamabilidad es,

Refrigerantes que cumplan las tres condiciones siguientes:

- Muestran propagación de llama cuando se ensayan a +60 °C y 101,3 kPa.
- Tiene un límite inferior de inflamabilidad, cuando forman una mezcla con el aire, igual o superior al 3,5% en volumen (V/V).
- Tiene un calor de combustión menor que 19.000 kJ/kg.

Dentro de este grupo la norma ISO 817 ha introducido el criterio de la disminución de riesgo a causa de la baja velocidad de propagación de la llama de ciertas sustancias, estableciendo la categoría 2L, el cual además de satisfacer las tres condiciones anteriores presenta la siguiente característica:

- Velocidad de propagación de la llama inferior a 10 cm/s.
- Los refrigerantes que en la actualidad están dentro de esta categoría son los siguientes:

- A2L: R-32; R-143a; R-1234yf; R-1234ze; R-444A; R-444B; R-445A; R-446A; R-447A; R-451A; R-451B; R-452B; R-454A; R-454B; R-454C y R-455A.
- B2L: R-717.

CATEGORÍA 3:

Según el (Real Decreto 552/2019, 2019), la categoría 3 de clasificación de los refrigerantes en función de su inflamabilidad es,

Refrigerantes que cumplan las tres condiciones siguientes:

- Muestran propagación de llama cuando se ensayan a +60 °C y 101,3 kPa.
- Tiene un límite inferior de inflamabilidad, cuando forman una mezcla con el aire, inferior al 3,5% en volumen (V/V).
- Tiene un calor de combustión mayor o igual que 19.000 kJ/kg.

Nota. Los límites inferiores de inflamabilidad se determinarán de acuerdo con la correspondiente norma, por ejemplo, ANSI / ASTM E 681 y se recogen en la ISO 817 y UNE-EN 378.

6.11.2. Clasificación en función de la toxicidad.

Según el (Real Decreto 552/2019, 2019), la clasificación según la toxicidad es,

“Los refrigerantes deberán incluirse dentro de una de las categorías A y B basándose en su toxicidad:”

CATEGORÍA A:

Según el (Real Decreto 552/2019, 2019), la categoría A de clasificación de los refrigerantes en función de la toxicidad es,

“Refrigerantes cuya concentración media en el tiempo no tiene efectos adversos para la mayoría de los trabajadores que pueden estar expuestos al refrigerante durante una jornada laboral de 8 horas diarias y 40 horas semanales y cuyo valor es igual o superior a una concentración media de 400 ml/m³ [400 ppm. (V/V

CATEGORÍA B:

Según el (Real Decreto 552/2019, 2019), la categoría B de clasificación de los refrigerantes en función de la toxicidad es,

“Refrigerantes cuya concentración media en el tiempo no tiene efectos adversos para la mayoría de los trabajadores que puedan estar expuestos al refrigerante durante una jornada laboral de 8 horas diarias y 40 horas semanales y cuyo valor es inferior a una concentración media de 400 ml/m³ [400 ppm. (V/V)].”

6.11.3. Clases y Grupos de seguridad.

Según el (Real Decreto 552/2019, 2019), las clases y grupos de seguridad en refrigerantes es,

“Los refrigerantes se clasifican por clases de seguridad de acuerdo con la tabla 1.”

Clases de seguridad y su determinación en función de la inflamabilidad y toxicidad

		Baja toxicidad	Alta toxicidad
Incremento riesgo - inflamabilidad ↓	Sin propagación de llama	A1	B1
	Baja inflamabilidad	A2L	B2L
	Media inflamabilidad	A2	B2
	Alta inflamabilidad	A3	B3
		→ → Incremento riesgo - toxicidad	

Tabla 5, Fuente: Según el Real Decreto 552/2019, de 27 de septiembre, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias.

Según el (Real Decreto 552/2019, 2019), las clases y grupos de seguridad en refrigerantes es,

“Para el propósito del presente Reglamento se agrupan de forma simplificada como sigue:

Grupo L1 de alta seguridad = A1.

Grupo L2 de media seguridad = A2L, A2, B1, B2L, B2.

Grupo L3 de baja seguridad = A3, B3.

Cuando existan dudas sobre el grupo al que pertenece un refrigerante éste se deberá clasificar en el más exigente de ellos.”

6.11.4. Clasificación de las mezclas de los refrigerantes en función de sus efectos sobre la salud y la seguridad.

Según el (Real Decreto 552/2019, 2019), la clasificación de las mezclas de los refrigerantes en función de sus efectos en salud y seguridad es,

A las mezclas de refrigerantes, cuya inflamabilidad o toxicidad puedan variar debido a cambios de composición por fraccionamiento, se les deberá asignar una doble clasificación de clase de seguridad separada por una barra oblicua (/). La primera clasificación registrada deberá ser la clasificación de la composición original de la mezcla. La segunda registrada deberá ser la de la composición de la mezcla en el «caso del fraccionamiento más desfavorable». Cada característica deberá considerarse independientemente.

Ambas clasificaciones deberán determinarse utilizando los mismos criterios que si fuera un refrigerante con un único componente.

En cuanto a su toxicidad, «el caso del fraccionamiento más desfavorable» deberá definirse como la composición que resulta de la concentración más alta del (de los) componente(s) en fase líquida o vapor. La toxicidad de una mezcla específica deberá establecerse en base a sus componentes considerados individualmente.

Puesto que el fraccionamiento puede ocurrir como resultado de una fuga en el sistema de refrigeración cuando se determine «el caso de fraccionamiento más desfavorable» deberán considerarse la composición de la mezcla que queda en el sistema y la de la fuga. El «caso del fraccionamiento más desfavorable» podrá ser o bien la composición inicial o una composición generada durante el fraccionamiento.

El caso del fraccionamiento más desfavorable, en lo referente a la toxicidad, podrá o no coincidir con el caso del fraccionamiento más desfavorable respecto a la inflamabilidad.

6.12. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL FLUIDO REFRIGERANTE

Según el (Trueba), los criterios de selección del fluido frigorígeno son,

“Los criterios de selección son los siguientes:

- Estabilidad química
- Comportamiento indiferente frente a los materiales usados
- Ausencia de toxicidad
- No debe ser explosivo ni inflamable
- Fácil detección de gas
- Ningún efecto sobre lubricantes
- La presión de evaporación debe ser superior a la presión atmosférica
- Baja presión de condensación
- Gran potencia frigorífica específica
- Costo y disponibilidad
- No perjudicar a la capa de ozono ni crear efecto invernadero
- Baja temperatura de evaporación”

Los refrigerantes elegidos para comparar datos en la instalación son:

- R507A
- R134a
- R404A
- R409A

Ya que tienen un comportamiento muy similar en la instalación, pero ya se verá que algún refrigerante va a destacar por encima de los otros.

6.13. CARACTERISTICAS DE LOS REFRIGERANTES ELEGIDOS EN LAS INSTALACIONES

Tabla 6, Fuente: Según el Real Decreto 552/2019, de 27 de septiembre, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias.

Nº de refrigerante	R-134a	R-409A	R-507A	R-404A
Denominación	1,1,1,2-Tetrafluoreta no	R22/124/142b (60/25/15)	R-125/143a (50/50)	R-125/143a/134ª (44/52/4)
Fórmula	CF ₃ CH ₂ F (11)	CHClF ₂ +CF ₃ CHClF+CH ₃ CClF ₂ (10;11)	CF ₃ CHF ₂ CF ₃ CH ₃ (11)	CF ₃ CHF ₂ +CF ₃ CH ₃ +CF ₃ CH ₂ F (11)
Masa Molecular kg/kmol	102	97,5	98,9	97,6
Densidad de vapor a 25 °C a 101,3 kPa kg/m ³	4,17	3,98	4,04	3,99
Límite Práctico kg/m ³	0,25	0,16	0,53	0,52
Punto de ebullición 101,3 kpa	-26	-34,7 a -26,3	-46,7	-46,5 a -46,7
ATEL/ODL (Kg/m ³)	0,21	0,12	0,53	0,52
Temperatura de autoignición °C	743	ND	ND	728
Límite inferior de inflamabilidad kg/m ³	NF	NF	NF	NF
Potencial de calentamiento atmosférico	1430	1585	3985	3922
Potencial de agotamiento de la capa de ozono	0	0,048	0	0
Clasificación según REP	2	2	2	2
Toxicidad	A1	A1/A1	A1	A1/A1

6.14. FICHA TÉCNICA DE LOS REFRIGERANTES ELEGIDOS

6.14.1. Ficha técnica R507A, obtenida de:

<https://gas-servei.com/shop/docs/ficha-tecnica-r-507a-gas-servei.pdf>



Características y aplicaciones

El R-507 es una mezcla azeotrópica compuesta por R-125 y R-143a. Sus características termodinámicas lo constituyen como el sustituto ideal del R-502 para el sector de la refrigeración, en baja y media temperatura. Se caracteriza por su estabilidad química, sus buenas propiedades termodinámicas y su baja toxicidad. Su principal aplicación es para las nuevas instalaciones de bajas y medias temperaturas.

También existe la posibilidad de reconvertir una instalación de R-502 a R-507, eliminando el 95% del aceite mineral o alquilbencénico original por un aceite polioléster. Es necesario cambiar el filtro secador (recomendable tamiz molecular XH9), sustituir la válvula de expansión por una de R-507 y sobredimensionar el condensador.

El R-507 es una mezcla de refrigerantes a base de HFC, los cuales no son compatibles con los lubricantes tradicionales que trabajaban con R-502. El único lubricante idóneo para utilizar es el aceite polioléster (POE).

Toxicidad y almacenamiento

Su toxicidad es muy pequeña. Tiene un valor de AEL (Allowable Exposure Limit) de 100 ppm (8 horas, TWA). Los envases de R-507 deben conservarse en sitios secos, bien ventilados y lejos de fuentes de calor. Los vapores son más pesados que el aire y se suelen acumular cerca del suelo. Su clasificación es **A1 grupo L1**

Componentes

Nombre químico	% en peso	Nº . CE
Pentafluoroetano (R-125)	50	206-557-8
1,1,1-Trifluoroetano (R-143a)	50	206-996-5



Propiedades físicas

PROPIEDADES FÍSICAS		R-507
Peso molecular	(g/mol)	98,9
Temperatura ebullición a (1,013 bar)	(°C)	-46,7
Temperatura crítica	(°C)	70,9
Presión crítica	(bar abs)	37,9
Densidad crítica	(Kg/m³)	500
Densidad del líquido (25°C)	(Kg/m³)	1050
Densidad del líquido (-25°C)	(Kg/m³)	1248
Densidad del vapor saturado (a 1,013 bar)	(Kg/m³)	5,5
Deslizamiento temperatura de ebullición (a 1,013 bar)	(K)	0
Presión del vapor (25°C)	(bar abs)	12,74
Presión del vapor (-25°C)	(bar abs)	2,58
Calor latente de vaporización a punto de ebullición	(KJ/Kg)	200
Calor específico del líquido (25°C)	(KJ/Kg K)	1,65
Calor específico del vapor (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg K)	0,87
Conductibilidad térmica del líquido (25°C)	(W/mK)	0,063
Conductibilidad térmica del vapor (1,013 bar)	(W/mK)	0,0141
Solubilidad con el agua (25°C)	(ppm)	despreciable
Límite de inflamabilidad (25°C)	(%vol.)	Ninguno
Toxicidad (AEL)	(ppm)	1000
ODP		0
PCA (GWP)		3985

Las propiedades termodinámicas del R-507 son muy similares a las del R-502, esto queda evidenciado en el siguiente ejemplo:

Las condiciones operativas simulan un ciclo real a baja temperatura, típico de la refrigeración comercial.

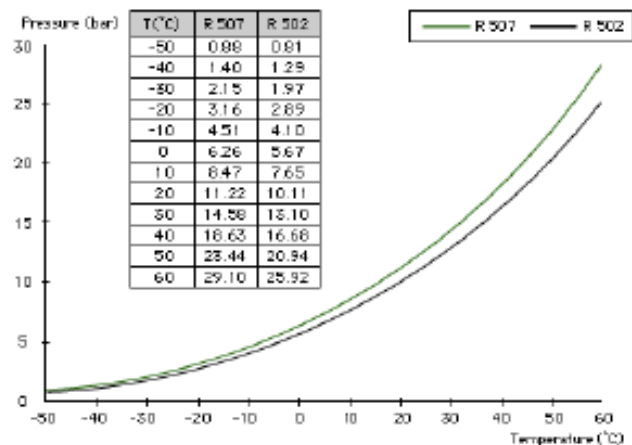
1. Temperatura a la entrada del Evaporador: -40°C
2. Temperatura a la entrada del Condensador: 45°C
3. Succión vapor sobrecalentado: 40°C
4. Líquido sobrenfriado: 5°C

Coefficiente de Compresión Isoentrópica: 1

	R-507	R-502
Presión de evaporación (bar)	1,41	1,3
Presión de condensación (bar)	20,93	18,72
Trabajo de compresión	14,8	14,4
Temperatura de descarga del compresor (°C)	93	103
COP	1,8	1,9
Capacidad neta de refrigeración (KJ/Kg)	83,5	83,4
Capacidad volumétrica de refrig. (KJ/m³)	527	543
Temperatura deslizamiento (evap.) (°C)	0	0
Temperatura deslizamiento (cond.) (°C)	0	0

FICHA TÉCNICA R-507

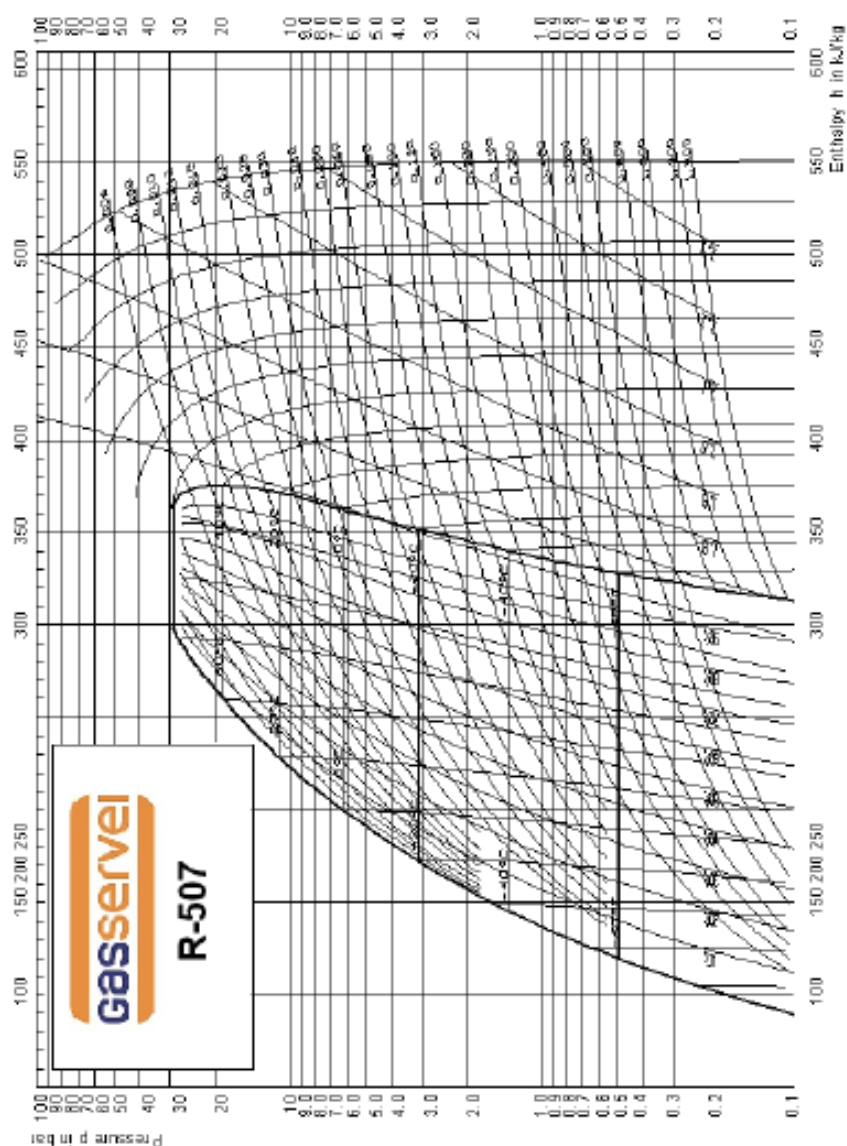
COMPARATIVA PRESIONES R-502 - R-507



TEMP. (°C)	PRESIÓN (bar)		DENSIDAD (Kg/m³)		ENTALPÍA (kJ/Kg)		ENTROPÍA (kJ/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO
-50	0.88	0.87	1329.37	4.85	135.80	333.99	0.8020	1.6902
-45	1.11	1.11	1314.14	6.07	141.73	337.14	0.8282	1.6847
-40	1.40	1.40	1298.61	7.52	147.74	340.26	0.8542	1.6799
-35	1.74	1.74	1282.74	9.23	153.82	343.35	0.8799	1.6757
-30	2.14	2.14	1266.51	11.24	159.98	346.39	0.9053	1.6720
-25	2.61	2.61	1249.87	13.57	166.22	349.39	0.9306	1.6687
-20	3.16	3.16	1232.79	16.27	172.54	352.34	0.9556	1.6659
-15	3.79	3.78	1215.20	19.39	178.95	355.21	0.9805	1.6633
-10	4.51	4.50	1197.08	22.96	185.45	358.01	1.0052	1.6610
-5	5.33	5.32	1178.35	27.06	192.05	360.73	1.0298	1.6588
0	6.25	6.25	1158.96	31.73	198.75	363.34	1.0542	1.6568
5	7.30	7.29	1138.83	37.05	205.55	365.85	1.0786	1.6549
10	8.46	8.46	1117.89	43.09	212.47	368.23	1.1029	1.6530
15	9.77	9.76	1096.03	49.97	219.50	370.48	1.1276	1.6511
20	11.21	11.20	1073.16	57.77	226.67	372.58	1.1513	1.6490
25	12.81	12.80	1049.15	66.64	233.99	374.50	1.1755	1.6468
30	14.57	14.56	1023.82	76.74	241.47	376.30	1.1998	1.6444
35	16.51	16.49	997.00	88.26	249.13	377.75	1.2243	1.6417
40	18.62	18.61	968.45	101.44	256.00	379.00	1.2489	1.6385
45	20.93	20.91	937.84	116.61	265.10	379.96	1.2738	1.6349
50	23.44	23.42	904.76	134.19	273.501	380.58	1.2992	1.6306



Diagrama de Mollier



6.14.2. Ficha técnica R134a, obtenida de:

https://www.simagas.es/pdf/gases_refrigerantes/Ficha-tecnica-R134A.pdf



FICHA TÉCNICA



R-134a

Características y aplicaciones

El gas refrigerante R-134a es un HFC que sustituye al R-12 en instalaciones nuevas. Como todos los refrigerantes HFC no daña la capa de ozono. Tiene una gran estabilidad térmica y química, una baja toxicidad y no es inflamable, además de tener una excelente compatibilidad con la mayoría de los materiales. Su clasificación es **A1** grupo **L1**.

No es miscible con los aceites tradicionales del R-12 (mineral y alquilbencénico); en cambio su miscibilidad con los aceites poliésteres (POE) es completa, por lo que debe utilizarse siempre con este tipo de aceites.

R-134a es un refrigerante alternativo al R-12 para el retrofitting de la instalación o para instalaciones nuevas. Es muy utilizado en el aire acondicionado de los automóviles y en refrigeradores domésticos. También se utiliza mucho en chillers del sector industrial y comercial además del transporte frigorífico en temperaturas positivas.

Toxicidad y almacenamiento

R-134a es una sustancia con muy poca toxicidad. El índice por inhalación LCLD de 4 horas en ratas es inferior a 500.000 ppm y el NOEL en relación a problemas cardíacos es aproximadamente 75.000 ppm. En exposiciones durante 104 semanas a una concentración de 10.000 ppm no se ha observado efecto alguno. Los envases de R-134a deben ser almacenados en lugares frescos y ventilados lejos de focos de calor. Los vapores de R-134a son más pesados que el aire y suelen acumularse cerca del suelo.

Componentes

Nombre químico	% en peso	Nº. CE
1,1,1,2-Tetrafluoroetano (R-134a)	100	212-377-0

Propiedades físicas

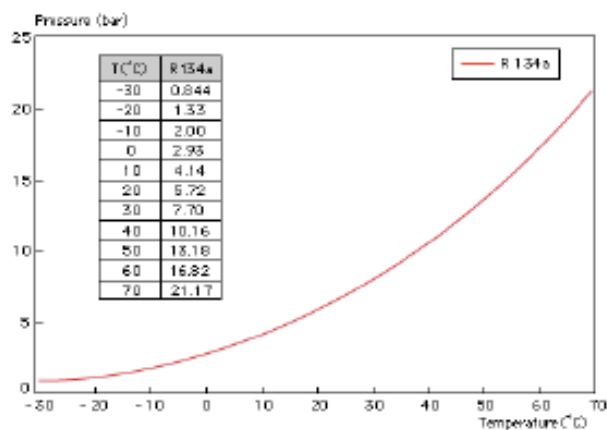
PROPIEDADES FÍSICAS		R-134A
Peso molecular	(g/mol)	102
Punto de ebullición (a 1,013 bar)	(°C)	-26.1
Punto de congelación	(°C)	-103
Temperatura crítica	(°C)	101.1
Presión crítica	(bar abs)	40.67
Densidad crítica	(Kg/m³)	508
Densidad del líquido (25°C)	(Kg/m³)	1.206
Densidad del líquido (0°C)	(Kg/m³)	1.293
Densidad del vapor saturado (a punto ebul.)	(Kg/m³)	5.28
Presión de vapor (25°C)	(bar abs)	6.657
Presión de vapor (0°C)	(bar abs)	2.92
Calor de vaporización a punto de ebullición	(KJ/Kg)	217.2
Calor específico del líquido (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg.K)	1.44
Calor específico del vapor (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg.K)	0.85
Viscosidad del líquido (25°C)	(cP)	0.202
Presión superficial (25°C)	(mN/m)	8.09
Solubilidad del R134a en agua (25°C a 1,013 bar)	(wt%)	0.15
Capacidad volumétrica refrig. (-25°C)	(Kg/m³)	1192.11
Inflamabilidad		No
ODP	-	0
PCA (GWP)	-	1430

Compatibilidad con los materiales

ELASTÓMEROS				PLASTÓMEROS			
	C	PC	NC		C	PC	NC
Goma Butílica	X			Propileno	X		
Neopreno	X			PVC	X		
Buna N	X			Poliétileno	X		
Buna S		X		Nylon	X		
Goma fluorada			X	Poliestireno		X	
Goma natural	X			PTFE	X		
Goma siliconada		X		Poliacetileno	X		
Goma EPDM	X			Resina epoxi	X		
Polisulfúrica	X			ABS		X	

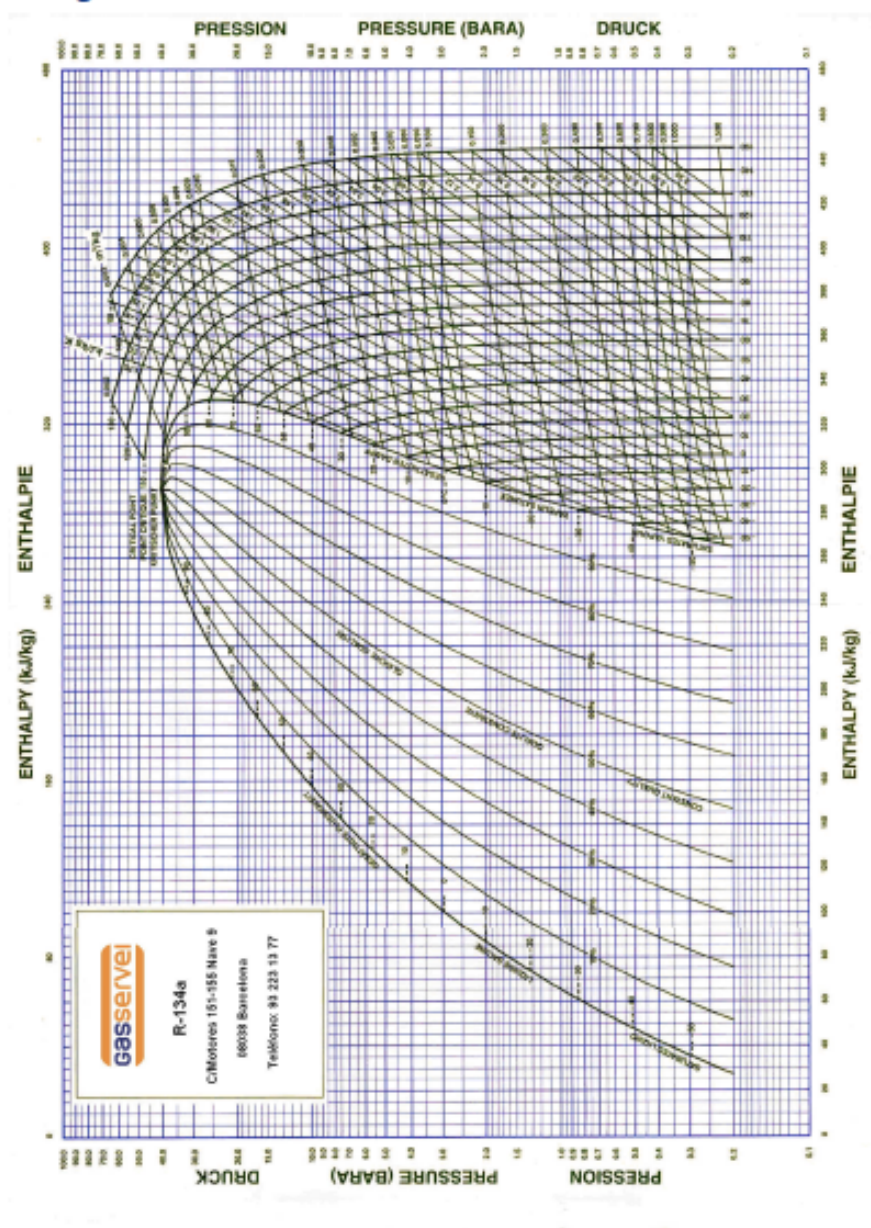
C = Compatible PC = Poco Compatible NC = No Compatible

Gráfico de presión / Temperatura



TEMP. (°C)	PRESION ABSOLUTA (bar)		DENSIDAD (Kg/m³)		ENTALPIA (kJ/Kg)		ENTROPIA (kJ/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO
-40	0.51	0.51	1413.94	2.76	149.45	375.65	0.8008	1.7710
-35	0.66	0.66	1399.95	3.50	155.53	378.93	0.8266	1.7646
-30	0.84	0.84	1385.72	4.39	161.67	382.20	0.8521	1.7590
-25	1.06	1.06	1371.24	5.45	167.88	385.45	0.8773	1.7540
-20	1.32	1.32	1356.46	6.71	174.16	388.69	0.9023	1.7497
-15	1.63	1.63	1341.36	8.19	180.51	391.90	0.9270	1.7458
-10	2.00	2.00	1325.92	9.92	186.93	395.07	0.9515	1.7425
-5	2.42	2.42	1310.10	11.92	193.43	398.20	0.9759	1.7395
0	2.92	2.92	1293.86	14.23	200.00	401.28	1.0000	1.7369
5	3.49	3.49	1277.17	16.89	206.65	404.30	1.0240	1.7346
10	4.14	4.14	1259.99	19.93	213.38	407.25	1.0478	1.7325
15	4.88	4.88	1242.27	23.40	220.20	410.13	1.0714	1.7306
20	5.71	5.71	1223.96	27.34	227.11	412.92	1.0950	1.7288
25	6.65	6.65	1205.00	31.81	234.11	415.62	1.1184	1.7272
30	7.70	7.70	1185.33	36.88	241.21	418.20	1.1417	1.7256
35	8.88	8.88	1164.89	42.61	248.42	420.67	1.1650	1.7240
40	10.18	10.18	1143.58	49.08	255.74	423.01	1.1882	1.7223
45	11.62	11.62	1121.32	56.40	263.19	425.20	1.2114	1.7206
50	13.20	13.20	1197.98	64.66	270.77	427.23	1.2346	1.7187

Diagrama de Mollier



www.gas-servei.com
Barcelona - Girona - Madrid - Zaragoza

6.14.3. Ficha técnica R404A, obtenida de:

<https://gas-servei.com/shop/docs/ficha-tecnica-r-404a-gas-servei.pdf>



FICHA TÉCNICA



R-404A

Características y aplicaciones

El R-404A es una mezcla ternaria compuesta por R-125, R-143A y R-134a. Sus características termodinámicas lo constituyen como el sustituto ideal del R-502 para el sector de la refrigeración en nuevas instalaciones para bajas y medias temperaturas. El R-404A se caracteriza por su notable estabilidad química y de un bajo deslizamiento de temperatura (Glide), de 0,7°C. Su clasificación es A1 grupo L1.

Su principal aplicación son las instalaciones nuevas para bajas y medias temperaturas.

También existe la posibilidad de reconvertir una instalación de R-502 a R-404A, eliminando el 95% del aceite mineral o alquilbencénico original, por un aceite polioléster. Es necesario cambiar el filtro secador (recomendable tamiz molecular XH9 y XH7), la válvula de expansión por una de R-404A, y sobredimensionar el condensador.

El R-404A es una mezcla de refrigerantes a base de HFC, los cuales no son compatibles con los lubricantes tradicionales que trabajaban con R-502. El único lubricante idóneo para utilizar con el R404A es el aceite polioléster(POE).

Toxicidad y almacenamiento

El R-404A es muy poco tóxico incluso con exposiciones prolongadas de tiempo. El AEL (Allowable Exposure Limit) es de 1000 ppm (8 horas, TWA). Los envases del R-404A deben almacenarse en lugares frescos y ventilados lejos de fuentes de calor. Los vapores, en caso de fuga tienden a acumularse a nivel del suelo.

Componentes

Nombre químico	% en peso	Nº CAS	Nº . CE
1,1,1,2- Tetrafluoroetano (R-134a)	4	811-97-2	212-377-0
Pentafluoroetano (R-125)	44	354-33-6	206-557-8
1,1,1-Trifluoroetano (R-143a)	52	420-46-2	206-996-5



FICHA TÉCNICA R-404A



Propiedades físicas

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	R-404A
Peso molecular	(g/mol)	97.61
Temperatura ebullición a (1,013 bar)	(°C)	-46.45
Deslizamiento temperatura de ebullición (a 1,013 bar)	(K)	0.7
Temperatura crítica	(°C)	72.07
Presión crítica	(bar abs)	37.31
Densidad crítica	(Kg/m³)	484
Densidad del líquido (25°C)	(Kg/m³)	1048
Densidad del líquido (-25°C)	(Kg/m³)	1236
Densidad del vapor saturado (a 1,013 bar)	(Kg/m³)	5.41
Presión del vapor (25°C)	(bar abs)	12.42
Presión del vapor (-25°C)	(bar abs)	2.49
Calor latente de vaporización (a 1,013 bar)	(KJ/Kg)	200
Calor específico del líquido (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg.K)	1.64
Calor específico del vapor (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg.K)	0.88
Conductibilidad térmica del líquido (25°C)	(W/mk)	0.064
Conductibilidad térmica del vapor (1,013 bar)	(W/mk)	0.0143
Solubilidad con el agua (25°C)	(ppm)	Despreciable
Límite de inflamabilidad (25°C)	(% vol)	Ninguno
Toxicidad (AEL)	(ppm)	1000
ODP	-	0
PCA (GWP)	-	3922 *

* De acuerdo con IPPCC-AR4/CIE (Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático)-2007

Comparativa de rendimientos entre el R-404A y el R-502:

Las propiedades termodinámicas del R-404A son muy similares a las del R-502, esto queda evidenciado en el siguiente ejemplo:

Las condiciones operativas simulan un ciclo real a media temperatura, típico de la refrigeración comercial.

1. Temperatura a la entrada del Evaporador: -25 °C
2. Temperatura a la entrada del Condensador: 45 °C
3. Subenfriamiento: 5 °C
4. Sobrecalentamiento: 45 °C
5. Coeficiente de Compresión Isoentrópica

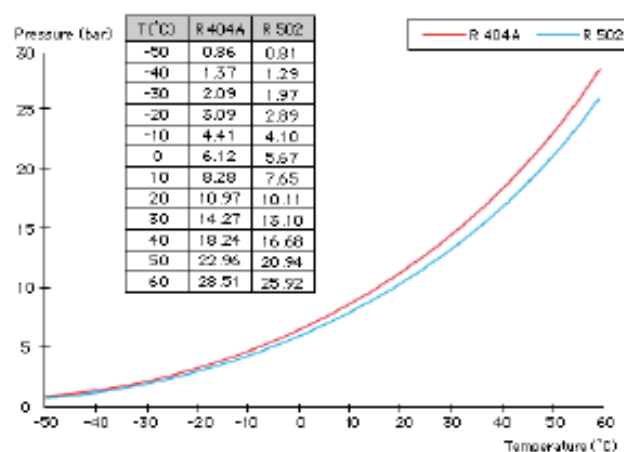


FICHA TÉCNICA R-404A



Ejemplo de un ciclo de refrigeración comercial	R-404A	R-502
Presión de evaporación (bar)	2.54	2.4
Presión de condensación (bar)	20.36	18.72
Trabajo de compresión	8	7.8
Temperatura de descarga (°C)	95	102
COP	1.8	1.9
Capacidad neta de refrigeración (KJ/Kg)	97	95
Capacidad volumétrica de refriger. (KJ/Kg)	1027	1039
Temperatura deslizamiento (evap.) (°C)	0.5	0
Temperatura deslizamiento (cond.) (°C)	0.3	0

Gráfica comparativa temperatura/presión del R-502- R-404A:





FICHA TÉCNICA
R-404A



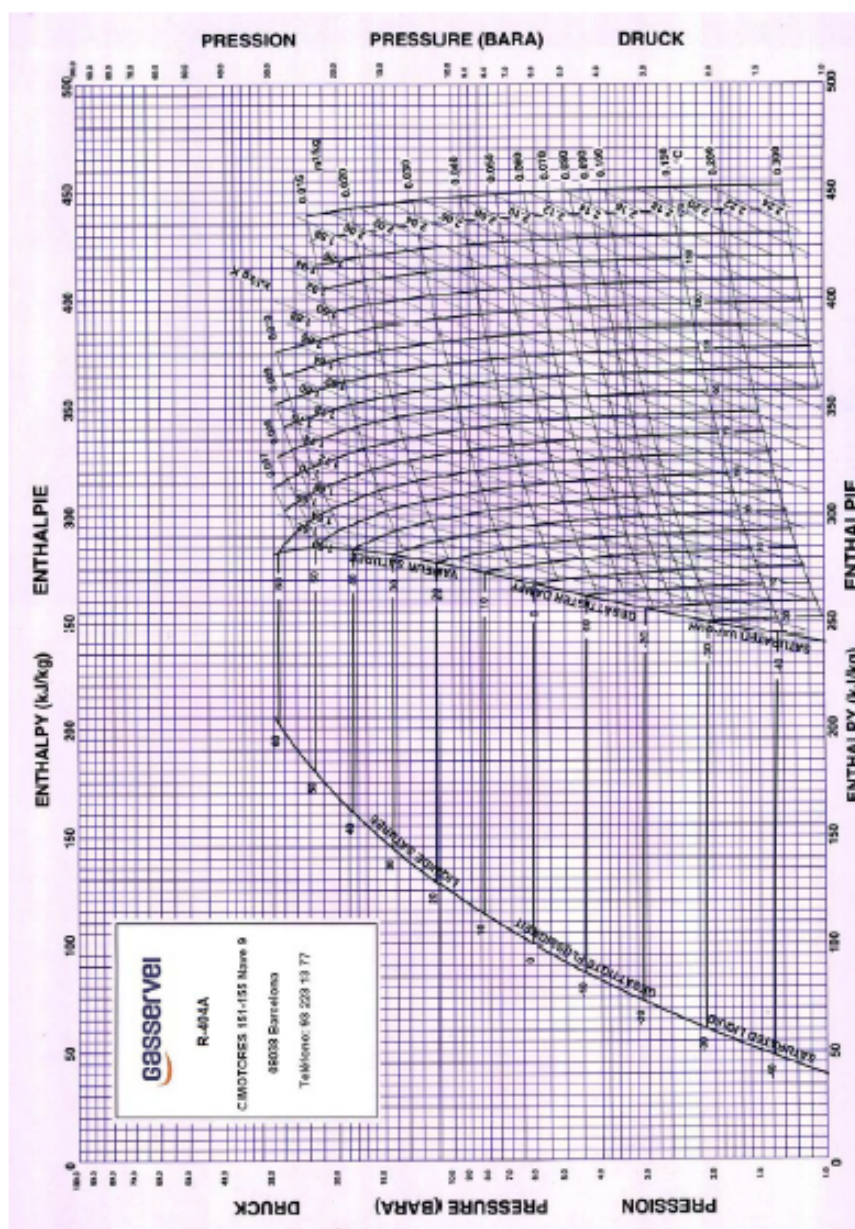
Tabla de presión/temperatura

TEMP. (°C)	PRESIÓN ABSOLUTA (bar)		DENSIDAD (Kg/m³)		ENTALPÍA (kJ/Kg)		ENTROPÍA (kJ/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCÍO	BURBUJA	ROCÍO	BURBUJA	ROCÍO	BURBUJA	ROCÍO
-50	0.85	0.82	1319.99	4.49	135.68	337.63	0.8120	1.7191
-45	1.09	1.05	1304.99	5.64	141.64	340.80	0.8384	1.7131
-40	1.36	1.32	1289.70	7.01	147.68	343.95	0.8644	1.7079
-35	1.70	1.65	1274.09	8.62	153.79	347.07	0.8902	1.7034
-30	2.09	2.04	1258.12	10.52	159.97	350.15	0.9158	1.6993
-25	2.55	2.49	1241.76	12.73	166.24	353.18	0.9412	1.6958
-20	3.08	3.01	1224.97	15.30	172.60	356.16	0.9664	1.6926
-15	3.70	3.62	1207.70	18.25	179.04	359.07	0.9914	1.6898
-10	4.40	4.32	1189.90	21.66	185.57	361.90	1.0162	1.6873
-5	5.20	5.11	1171.52	25.55	192.20	364.65	1.0409	1.6849
0	6.11	6.01	1152.51	30.00	198.92	367.31	1.0655	1.6827
5	7.13	7.03	1132.78	35.07	205.76	369.86	1.0899	1.6806
10	8.28	8.16	1112.27	40.38	212.70	372.28	1.1143	1.6765
15	9.55	9.43	1090.89	47.38	219.77	374.57	1.1387	1.6743
20	10.97	10.84	1068.53	54.82	226.97	376.71	1.1630	1.6720
25	12.54	12.40	1045.08	63.28	234.32	378.68	1.1873	1.6695
30	14.25	14.12	1020.38	72.89	241.82	380.47	1.2117	1.6667
35	16.16	16.01	994.26	83.86	249.50	382.03	1.2362	1.6636
40	18.23	18.08	966.50	96.39	257.39	383.35	1.2609	1.6611
45	20.49	20.34	936.81	110.80	265.51	384.38	1.2859	1.6595
50	22.95	22.80	904.81	127.46	273.91	385.08	1.3113	1.6556



FICHA TÉCNICA R-404A

Diagrama de Mollier



www.gas-servel.com
Barcelona - Madrid - Zaragoza - Ciudad de México

5

6.14.4. Ficha técnica del R409A, obtenida de:

<https://es.climalife.dehon.com/uploads/product/media/document/r-409a-fp-en.pdf>



climalife®

R-409A

(ZEOTROPIC MIXTURE)

GUARANTEED COMMERCIAL SPECIFICATIONS

STANDARD SPECIFICATIONS	LIMIT VALUE
Composition:	
- R-22	60 % (± 2 %)
- R-124	25 % (± 2 %)
- R-142b	15 % (± 1 %)
Guaranteed purity	≥ 99 % weight
Water content	≤ 20 ppm weight
Acidity (HCl)	≤ 5 ppm weight
Non-condensable content (gas phase)	≤ 1.5 % volume

MAIN APPLICATIONS

R-409A is a HCFC type "zeotropic" transition mixture of usage regulated over time (Montreal Protocol), designed for R-12 (CFC) current uses in domestic, commercial, and industrial cooling domains.

It is used preferably for fluid conversions aiming at eliminating R-12, in order to protect the stratospheric ozone layer.

It should not be used for automotive air-conditioning conversion.

OILS

Use an alkylbenzene (AB), mineral (MN) or even polyol ester (POE) oil in agreement with the compressor manufacturer.

Check with **Climalife** regarding the viscosity of the oil selected for your application, and the miscibility with the fluid under consideration.

PRECAUTIONS OF USE

Refer to the Safety Data Sheet*.

REGULATION

Using R-409A is governed by European regulation n° 2037/2000 of June 29, 2000:

- using R-409A is completely prohibited in new setup as of 12.31.2003
- using virgin R-409A is prohibited for maintenance and service as of 01.01.2010
- using R-409A, even recycled, is completely prohibited as of 01.01.2015.

In Europe, R-409A recovery is mandatory as per regulation n° 842/2006.

(Refer to regulations enforced in each country).

* Find the Safety Data Sheet (SDS) directly on our website www.climalife.dehon.com



R-409 A

climalife®

R-409A PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES

Molar mass	g/mol	97.43
Melting point	°C	N/A
Boiling point (under 1.013 bar)	°C	-34,45
Temperature drift under 1.013 bar	K	8,49
Saturated fluid density at 25°C	kg/m ³	1214
Saturated vapour density at boiling point	kg/m ³	4,979
Vapour pressure at: 25°C 50°C	bar	8,02 14,99
Critical temperature	°C	109,27
Critical pressure	bar	46,99
Critical density	kg/m ³	509
Latent heat of vaporisation at boiling point	kJ/kg	222,52
Thermal conductivity at 25°C Liquid	W/(m.K)	0,078
Vapour under 1.013 bar	W/(m.K)	0,010
Surface tension at 25°C	10 ⁻³ N/m	9,50
Viscosity at 25°C Liquid	10 ⁻³ Pa-s	0,188
Vapour under 1.013 bar	10 ⁻³ Pa-s	0,012
Specific heat at 25°C Liquid	kJ/(kg.K)	1,228
Vapour under 1.013 bar	kJ/(kg.K)	0,710
Cp/Cv ratio at 25°C under 1.013 bar		1.151
Flammability in air		non-flammable
Flashing point		none
NF-EN 378 classification		A1
ASHRAE		A1
Potential effect on ozone	(R-11 = 1)	0.033
GWP 4th Assessment /5th Assessment		1585/1485

Please contact your distributor or Climalife sales department for more information. Also, if the refrigerated system you want to install does not appear to you as a typical case, we are at your service to provide opinions and advices.

The information contained in this product sheet is the result of our studies and experience. It is provided in good faith, but should not, under any circumstances, be taken to constitute a guarantee on our part or an assumption of our responsibility. This is particularly the case when third party rights are at stake or in situations where a user of our products fails to observe applicable regulations.

For more information, please visit our website:
http://www.climalife.com/contact_us

6.15. INTRODUCCIÓN A LOS CÁLCULOS EN LAS INSTALACIONES FRIGORÍFICAS DE UN BUQUE RO-RO

- Los cálculos que se van a realizar son circuitos ideales, ya que no se tienen los datos suficientes para realizar los circuitos reales.
- Los refrigerantes de los cuales se van a realizar los cálculos son los elegidos anteriormente.
- Se realizará una comparación de resultados, inicialmente con el refrigerante actual de la instalación R507A se realizará tanto cálculos a mano como cálculos con el programa de simulación SOLKANE. Con esta comprobación se conseguirá dar una aprobación de la simulación según el error obtenido.
- Tras la realización de todos los cálculos se elaborarán unas conclusiones donde se darán a conocer tanto las mejores como las peores opciones de refrigerante para las instalaciones.

6.16. CÁLCULOS DE LAS INSTALACIONES REFRIGERANTE R507A

6.16.1. Cálculo Gambuzas de congelados R507A

Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de Tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Cálculos:

Presión del condensador (P_k) a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ según tablas del refrigerante R507A = 23,44 Bar

Presión del evaporador (P_o) a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ según tablas del refrigerante R507A = 3,40 Bar

Tabla 7: Fuente propia. Cálculo de Presión del evaporador.

Temperatura	Presión
-20	3,16
-18	P_o
-15	3,79

$$\frac{-20 - (-15)}{3,16 - 3,79} = \frac{-18 - (-15)}{P_o - 3,79}$$

Entalpías de los 4 puntos característicos de la compresión mecánica obtenidas del diagrama (P/h) del refrigerante R507A

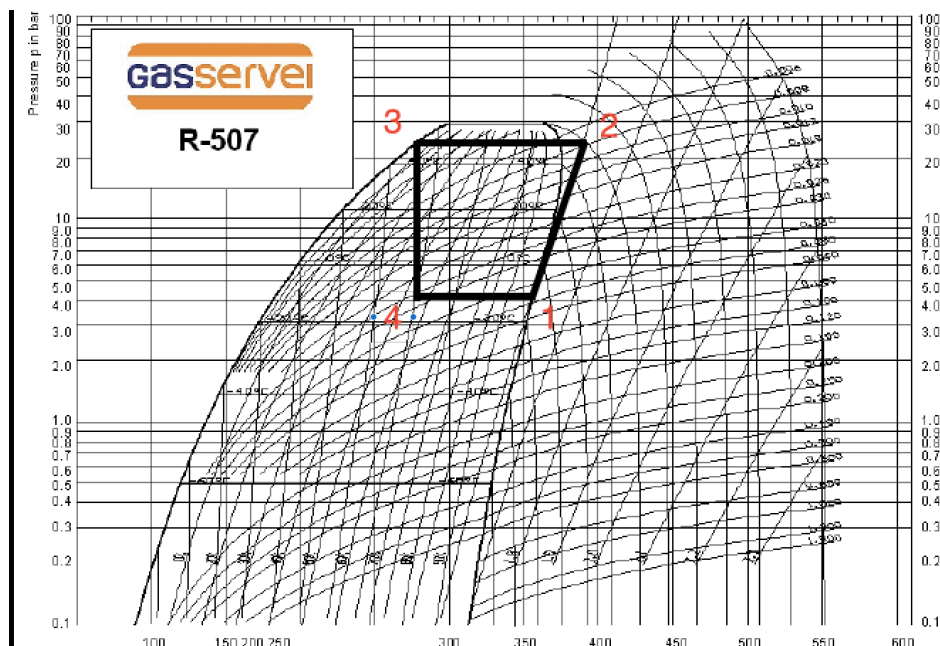


Diagrama obtenido de:

https://www.simagas.es/pdf/gases_refrigernates/Ficha-tecnica-R507.pdf

- $h_1 = 353 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 390 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 278 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 278 \text{ kJ/kg}$

Según datos técnicos de la instalación, esta diseñada para ofrecer una $W_{\text{frigorífica}}$ de 6KW

$$W_{\text{frigorífica}} = m (h_1 - h_4)$$

$$6 = m (353 - 278)$$

$$m = 0,08 \text{ kg/s} = 80 \text{ g/s}$$

$$W_{\text{compresor}} = m (h_2 - h_1) = 0,08 \times (390 - 353) = 2,96 \text{ kW}$$

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{353 - 278}{390 - 353} = 2,027$$

Comprobación del cálculo:

$$\frac{W_{\text{frigorífica}}}{W_{\text{compresor}}} = COP$$

$$\frac{6}{2,96} = 2,027$$

6.16.1.1. Simulación de la instalación con SOLKANE

SOLKANE 8.0.0 - [SOLKANE® 507]

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 507

t_c 70.62 °C
 p_c 37.05 bar
 v_c 2.038 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
 Temperatura -18.00 °C
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Capacidad frigorífica 6.00 kW

Condensador
 Temperatura 50.00 °C
 Subenfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Cálculo

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1.000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Punto	p bar	t °C	v dm³/kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x --
1	3,38	-18,00	56,71	352,62	1,6021	
2s	23,59	58,35	7,78	390,29	1,6021	
2	23,59	58,35	7,78	390,29	1,6021	
3	23,59	58,35	7,78	390,29	1,6021	
3'	23,59	50,00	6,85	376,69	1,5606	
3'4m	23,59	49,98	3,98	327,06	1,4076	
4'	23,59	49,97	1,11	277,43	1,2546	
4	23,59	49,97	1,11	277,43	1,2546	
5	3,38	-18,01	32,96	277,43	1,3078	0,575
56'm	3,38	-18,01	44,84	315,02	1,4550	
6"	3,38	-18,00	56,71	352,62	1,6021	
6	3,38	-18,00	56,71	352,62	1,6021	

Proceso de una etapa

SOLKANE 8.0.0 - [SOLKANE® 507]

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 507

t_c 70.62 °C
 p_c 37.05 bar
 v_c 2.038 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
 Temperatura -18.00 °C
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Capacidad frigorífica 6.00 kW

Condensador
 Temperatura 50.00 °C
 Subenfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Cálculo

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1.000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Potencias	Proceso de una etapa
Vaporizador	6,00 kW
Condensador	9,01 kW
Compresor	3,01 kW
Conducto de gas por aspiración	0,000 kW
Conducto de gas de presión	0,000 kW
Índice de compresión	6,97
Diferencia de presión	20,21 bar
Caudal másico	79,795 g/s
Caudal de volumen desplazado	16,29 m³/h
Potencia de enfriamiento volúm.	1326 kJ/m³
Índice de potencia de enfriamiento	2,00

SOLKANE 8.0.0 - [SOLKANE® 507]

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 507

t_c 70.62 °C
 p_c 37.05 bar
 v_c 2.038 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
 Temperatura -18.00 °C
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Capacidad frigorífica 6.00 kW

Condensador
 Temperatura 50.00 °C
 Subenfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Cálculo

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1.000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

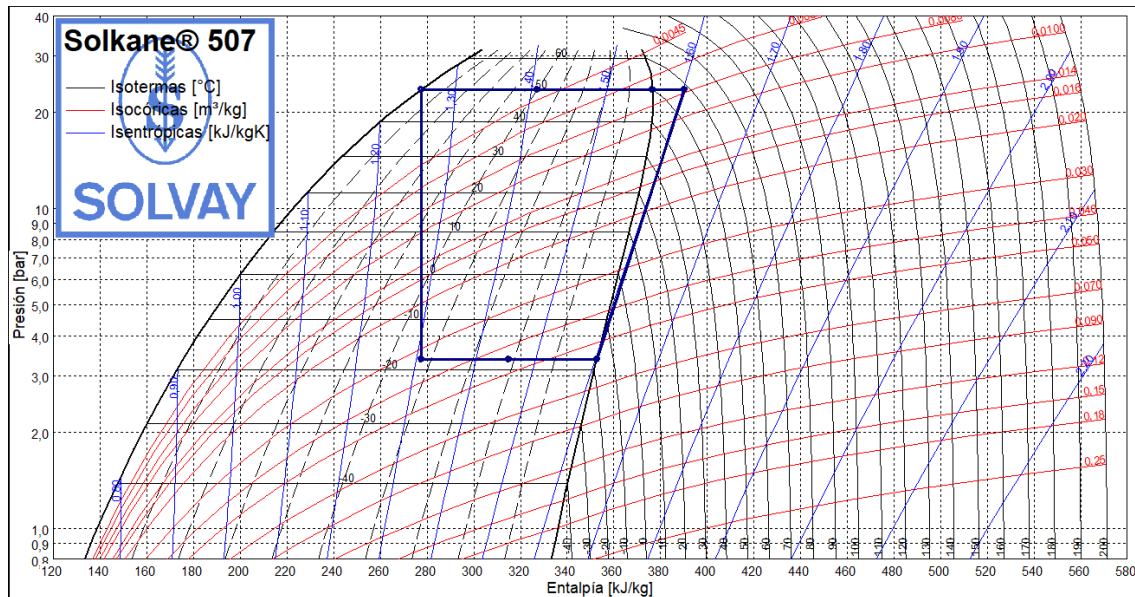
Sección de tubo	Material	Estándar
Tubería gas aspirado	Cu	EN 12735-1
Tubería de gas a presión	Cu	EN 12735-1
Tubería de líquido	Cu	EN 12735-1
Tubería ascendente gas aspirado	Cu	EN 12735-1
Tubería ascendente gas a presión	Cu	EN 12735-1

Datos del proceso

Temp. de vaporización	-18.00 °C
Temp. media gas aspirado	-18.00 °C
Temp. media gas a presión	58.35 °C
Temp. de licuado	50.00 °C
Subenfriamiento de líquido	0.00 K
Capacidad frigorífica	6 kW

Dimensionamiento de tubo / Proceso de una etapa

Tubería gas aspirado	Tubería de gas a presión	Tubería de líquido	Tubería ascendente gas aspirado	Tubería ascendente gas a presión																					
Tubería gas aspirado [Cu / EN 12735-1 / Longitud equivalente]																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tubo mas grande siguiente</th> <th>Diámetro interior [mm]</th> <th>Tubo mas pequeño siguiente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>22 x 1,0 (di=20mm)</td> <td>24.31</td> <td>28 x 1,5 (di=25mm)</td> </tr> <tr> <td>14,40</td> <td>9.75</td> <td>9.22</td> </tr> <tr> <td>0,10</td> <td>Longitud equivalente [Km]</td> <td>0,04</td> </tr> <tr> <td>1294</td> <td>Caída de presión [Pa/m]</td> <td>436</td> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td>Pérdida total de presión [K]</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L=10 m Δp=0,4 K</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Tubo mas grande siguiente	Diámetro interior [mm]	Tubo mas pequeño siguiente	22 x 1,0 (di=20mm)	24.31	28 x 1,5 (di=25mm)	14,40	9.75	9.22	0,10	Longitud equivalente [Km]	0,04	1294	Caída de presión [Pa/m]	436	1,0	Pérdida total de presión [K]	0,3		L=10 m Δp=0,4 K	
Tubo mas grande siguiente	Diámetro interior [mm]	Tubo mas pequeño siguiente																							
22 x 1,0 (di=20mm)	24.31	28 x 1,5 (di=25mm)																							
14,40	9.75	9.22																							
0,10	Longitud equivalente [Km]	0,04																							
1294	Caída de presión [Pa/m]	436																							
1,0	Pérdida total de presión [K]	0,3																							
	L=10 m Δp=0,4 K																								



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías de los 4 puntos característicos de la compresión mecánica obtenidas con el programa SOLKANE del refrigerante R507A

- $h_1 = 352,62 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 390,29 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 277,73 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 277,73 \text{ kJ/kg}$

$W_{\text{compresor}} = 3,01 \text{ kW}$

Caudal másico = $m = 79,795 \text{ g/s}$

Índice de potencia de enfriamiento = $\text{COP} = 2,00$

6.16.1.2. Tabla comparativa de cálculos a mano y las simulaciones de SOLKANE

Tabla 8, Fuente propia.

R507A	CÁLCULO	SIMULACIÓN	Diferencia en (%)
h 1 (kJ/kg)	353	352,62	0,10
h 2 (kJ/kg)	390	390,29	0,074
h 3 (kJ/kg)	278	277,73	0,097
h 4 (kJ/kg)	278	277,73	0,097
m (g/s)	80	79,795	0,25
W compresor (kW)	2,96	3,01	1,66
COP	2,027	2	1,35

$$Diferencia\ en\ \% = \frac{\| Simulación - Cálculo \|}{Simulación} \times 100$$

6.16.2. Simulación Gambuzas de frescos R507A

Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de Tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 48\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = 0^{\circ}\text{C}$

Cálculos:

Presión del condensador (P_k) a 48°C según tablas del refrigerante R507A = 23,036 Bar

Presión del evaporador (P_o) a 0°C según tablas del refrigerante R507A = 6,25 Bar

Tabla 9, Fuente propia. Cálculo de Presión del condensador.

Temperatura	Presión
45	20,93
48	P_k
50	24,44

$$\frac{45 - 50}{20,93 - 24,44} = \frac{48 - 50}{P_k - 24,44}$$

Entalpías de los 4 puntos característicos de la compresión mecánica obtenidas del diagrama (P/h) del refrigerante R507A

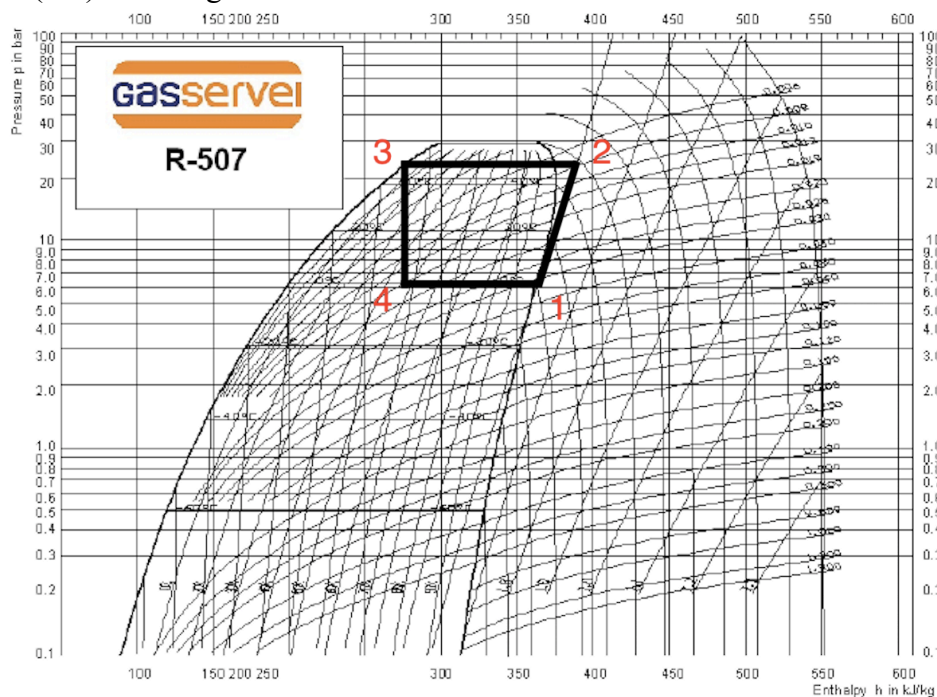


Diagrama obtenido de:

https://www.simagas.es/pdf/gases_refrigerantes/Ficha-tecnica-R507.pdf

- $h_1 = 362 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 387 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 272 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 272 \text{ kJ/kg}$

Según datos técnicos de la instalación, esta diseñada para ofrecer una $W_{\text{frigorífica}}$ de 6 kW

$$W_{\text{frigorífica}} = m (h_1 - h_4)$$

$$6 = m (362 - 272)$$

$$m = 0,066 \text{ kg/s} = 66 \text{ g/s}$$

$$W_{\text{compresor}} = m (h_2 - h_1) = 0,066 \times (387 - 362) = 1,666 \text{ kW}$$

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{362 - 272}{387 - 362} = 3,6$$

Comprobación del cálculo:

$$\frac{W_{\text{frigorífica}}}{W_{\text{compresor}}} = COP$$

$$\frac{6}{1,666} = 3,6$$

6.16.2.1. Simulación de la instalación con SOLKANE

SOLKANE 8.0.0 - [SOLKANE® 507]

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 507

t_c 70,62 °C
 p_c 37,05 bar
 v_c 2,038 dm³/kg

Vaporizador
 Temperatura 0,00 °C
 Recalentamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar
 Capacidad frigorífica 6,00 kW

Condensador
 Temperatura 48,00 °C
 Subenfriamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar
 Cálculo

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Punto	p bar	t °C	v dm³/kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x --
1	6,24	0,00	30,99	361,92	1,5926	
2s	22,54	53,94	7,98	386,32	1,5926	
2	22,54	53,94	7,98	386,32	1,5926	
3	22,54	53,94	7,98	386,32	1,5926	
3'	22,54	48,00	7,30	376,79	1,5632	
3'4'm	22,54	47,98	4,20	325,26	1,4033	
4'	22,54	47,96	1,09	273,73	1,2435	
4	22,54	47,96	1,09	273,73	1,2435	
5	6,24	-0,02	14,57	273,73	1,2696	0,455
56'm	6,24	-0,01	22,78	317,82	1,4311	
6"	6,24	0,00	30,99	361,92	1,5926	
6	6,24	0,00	30,99	361,92	1,5926	

Proceso de una etapa

SOLKANE 8.0.0 - [SOLKANE® 507]

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 507

t_c 70,62 °C
 p_c 37,05 bar
 v_c 2,038 dm³/kg

Vaporizador
 Temperatura 0,00 °C
 Recalentamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar
 Capacidad frigorífica 6,00 kW

Condensador
 Temperatura 48,00 °C
 Subenfriamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar
 Cálculo

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Potencias

Proceso de una etapa	Potencia
Vaporizador	6,00 kW
Condensador	7,66 kW
Compresor	1,66 kW

Indice de compresión 3,61
Diferencia de presión 16,30 bar
Caudal másico 68,032 g/s
Caudal de volumen desplazado 7,59 m³/h
Potencia de enfriamiento volúm. 2846 kJ/m³
Indice de potencia de enfriamiento 3,61

Conducto de gas por aspiración 0,000 kW
Conducto de gas de presión 0,000 kW

SOLKANE 8.0.0 - [SOLKANE® 507]

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 507

t_c 70,62 °C
 p_c 37,05 bar
 v_c 2,038 dm³/kg

Vaporizador
 Temperatura 0,00 °C
 Recalentamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar
 Capacidad frigorífica 6,00 kW

Condensador
 Temperatura 48,00 °C
 Subenfriamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar
 Cálculo

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Sección de tubo

Material	Estándar
Tubería gas aspirado	Cu EN 12735-1
Tubería de gas a presión	Cu EN 12735-1
Tubería de líquido	Cu EN 12735-1
Tubería ascendente gas aspirado	Cu EN 12735-1
Tubería ascendente gas a presión	Cu EN 12735-1

Datos del proceso

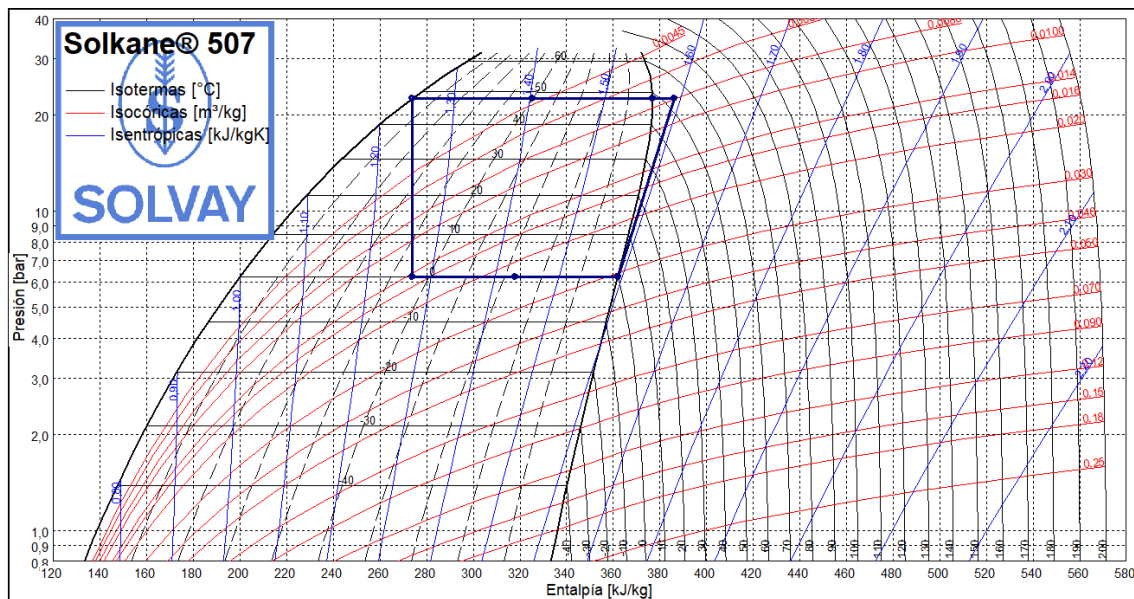
Temp. de vaporización	0,00 °C
Temp. media gas aspirado	0,00 °C
Temp. media gas a presión	53,94 °C
Temp. de licuado	48,00 °C
Subenfriamiento de líquido	0,00 K
Capacidad frigorífica	6 kW

Dimensionamiento de tubo / Proceso de una etapa

Tubería gas aspirado Tubería de gas a presión Tubería de líquido Tubería ascendente gas aspirado Tubería ascendente gas a presión

Tubería gas aspirado [Cu / EN 12735-1 / Longitud equivalente]

Tubo mas grande siguiente	Diámetro interior [mm]	Tubo mas pequeño siguiente
18 x 1,0 (di=16mm)	18,47	22 x 1,0 (di=20mm)
Velocidad [m/s]	7,87	6,71
Longitud equivalente [Km]	0,08	0,03
Caida de presión [Pa/m]	1597	532
Pérdida total de presión [K]	0,8	0,3
L=10 m Δp=0,4 K		



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías de los 4 puntos característicos de la compresión mecánica obtenidas con el programa SOLKANE del refrigerante R507A

- $h_1 = 361,92 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 386,32 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 273,73 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 273,73 \text{ kJ/kg}$

$W_{\text{compresor}} = 1,66 \text{ kW}$

Caudal másico = $\dot{m} = 68,032 \text{ g/s}$

Índice de potencia de enfriamiento = $\text{COP} = 3,61$

6.16.2.2. Tabla comparativa de cálculos a mano y las simulaciones en SOLKANE

Tabla 10, Fuente propia

R507A	CÁLCULO	SIMULACIÓN	Diferencia en %
h 1 (kJ/kg)	362	361,92	0,022
h 2 (kJ/kg)	387	386,32	0,17
h 3 (kJ/kg)	272	273,73	0,63
h 4 (kJ/kg)	272	273,73	0,63
m (g/s)	66	68,032	2,98
W compresor (kW)	1,66	1,66	0
COP	3,6	3,61	0,27

$$Diferencia\ en\ \% = \frac{\| Simulación - Cálculo \|}{Simulación} \times 100$$

6.16.3. Cálculo AACC Central del barco R507A

Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de Tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 53\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Cálculos:

Presión del condensador (P_k) a $53\text{ }^{\circ}\text{C}$ según tablas del refrigerante R507A = 24,8 Bar

Presión del evaporador (P_o) a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ según tablas del refrigerante R507A = 9,77 Bar

Entalpías de los 4 puntos característicos de la compresión mecánica obtenidas del diagrama (P/h) del refrigerante R507A

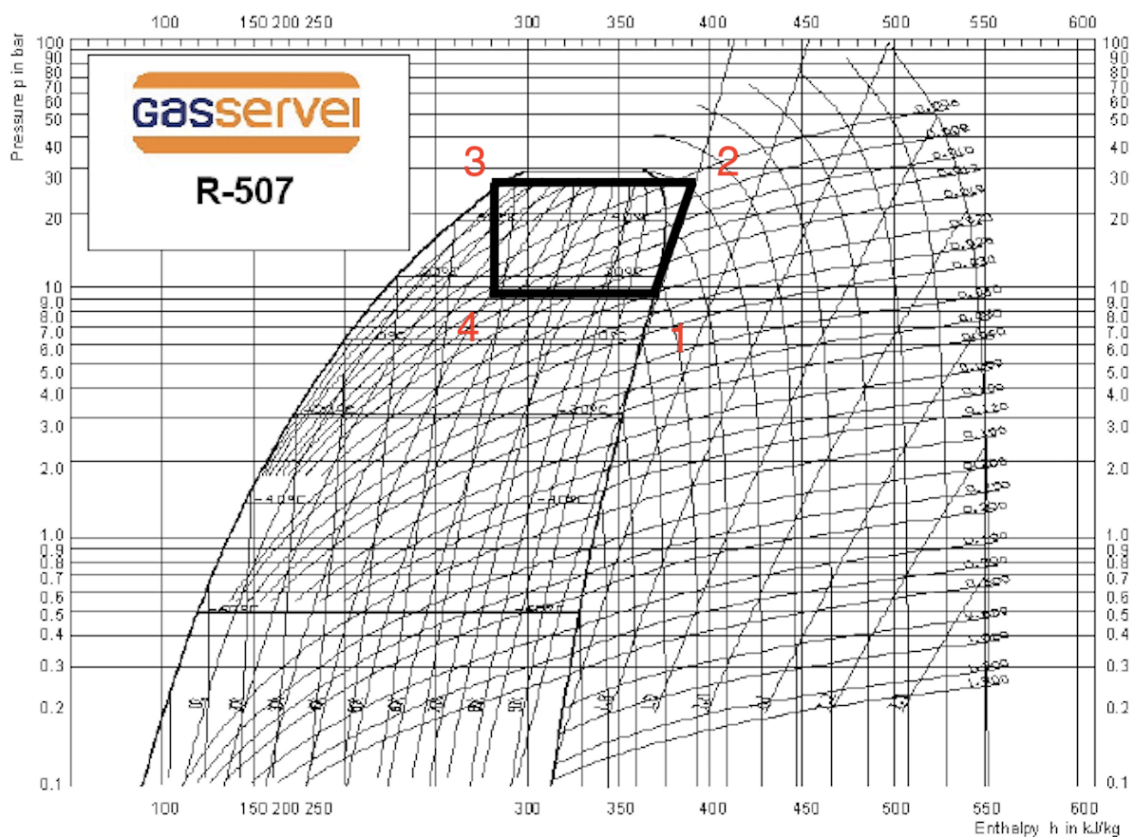


Diagrama obtenido de:

https://www.simagas.es/pdf/gases_refrigerantes/Ficha-tecnica-R507.pdf

- $h_1 = 369 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 387 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 282 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 282 \text{ kJ/kg}$

Según datos técnicos de la instalación, esta diseñada para ofrecer una $W_{\text{frigorífica}}$ de 110 kW

$$W_{\text{frigorífica}} = m (h_1 - h_4)$$

$$110 = m (369 - 282)$$

$$m = 1,264 \text{ kg/s} = 1264 \text{ g/s}$$

$$W_{\text{compresor}} = m (h_2 - h_1) = 1,264 \times (387 - 369) = 22,75 \text{ kW}$$

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{369 - 282}{387 - 369} = 4,83$$

Comprobación del cálculo:

$$\frac{W_{\text{frigorífica}}}{W_{\text{compresor}}} = COP$$

$$\frac{110}{22,75} = 4,83$$

6.16.3.1. Simulación de la instalación con SOLKANE

R22	R23	R32	R123	R124	R125	R134a	R143a	R152a	R227	R365mfc	R404A	R407A	R407C	R409A	R410A	R507	SES36	S22L	S22M	R11	R12	R502	R13B1	?
-----	-----	-----	------	------	------	-------	-------	-------	------	---------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	------	------	-----	-----	------	-------	---

SOLKANE® 507

t_c 70.62 °C
 P_c 37.05 bar
 v_c 2.038 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
 Temperatura 15.00 °C
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Capacidad frigorífica 110 kW

Condensador
 Temperatura 53.00 °C
 Subenfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Cálculo

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1.000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Circulación (F2) | Parámetro de emisión (F3) | Índices funcionales (F4) | Dimensionamiento de tubo (F5)

Punto	p	t	v	h	s	x
	bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kgK	--
1	9,76	15,00	19,52	368,67	1,5861	
2s	25,25	58,46	6,86	386,16	1,5861	
2	25,25	58,46	6,86	386,16	1,5860	
3	25,25	58,46	6,86	386,16	1,5860	
3'	25,25	53,00	6,21	376,32	1,5561	
3'4'm	25,25	52,98	3,68	329,74	1,4139	
4'	25,25	52,97	1,14	283,16	1,2717	
4	25,25	52,97	1,14	283,16	1,2717	
5	9,76	14,97	8,73	283,16	1,2888	0,420
56'm	9,76	14,99	14,13	325,92	1,4375	
6"	9,76	15,00	19,52	368,67	1,5861	
6	9,76	15,00	19,52	368,67	1,5861	

Proceso de una etapa

R22	R23	R32	R123	R124	R125	R134a	R143a	R152a	R227	R365mfc	R404A	R407A	R407C	R409A	R410A	R507	SES36	S22L	S22M	R11	R12	R502	R13B1	?
-----	-----	-----	------	------	------	-------	-------	-------	------	---------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	------	------	-----	-----	------	-------	---

SOLKANE® 507

t_c 70.62 °C
 P_c 37.05 bar
 v_c 2.038 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
 Temperatura 15.00 °C
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Capacidad frigorífica 110 kW

Condensador
 Temperatura 53.00 °C
 Subenfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Cálculo

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1.000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Circulación (F2) | Parámetro de emisión (F3) | Índices funcionales (F4) | Dimensionamiento de tubo (F5)

Potencias	Proceso de una etapa
Vaporizador	110 kW
Condensador	132 kW
Compresor	22,5 kW
Indice de compresión	2,59
Diferencia de presión	15,49 bar
Caudal másico	1286,4 g/s
Caudal de volumen desplazado	90,42 m³/h
Potencia de enfriamiento volúm.	4380 kJ/m³
Indice de potencia de enfriamiento	4,89
Conducto de gas por aspiración	0,000 kW
Conducto de gas de presión	0,000 kW

R22	R23	R32	R123	R124	R125	R134a	R143a	R152a	R227	R365mfc	R404A	R407A	R407C	R409A	R410A	R507	SES36	S22L	S22M	R11	R12	R502	R13B1	?
-----	-----	-----	------	------	------	-------	-------	-------	------	---------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	------	------	-----	-----	------	-------	---

SOLKANE® 507

t_c 70.62 °C
 P_c 37.05 bar
 v_c 2.038 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
 Temperatura 15.00 °C
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Capacidad frigorífica 110 kW

Condensador
 Temperatura 53.00 °C
 Subenfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Cálculo

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1.000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Circulación (F2) | Parámetro de emisión (F3) | Índices funcionales (F4) | Dimensionamiento de tubo (F5)

Sección de tubo	Material	Estándar
Tubería gas aspirado	Cu	EN 12735-1
Tubería de gas a presión	Cu	EN 12735-1
Tubería de líquido	Cu	EN 12735-1
Tubería ascendente gas aspirado	Cu	EN 12735-1
Tubería ascendente gas a presión	Cu	EN 12735-1

Datos del proceso

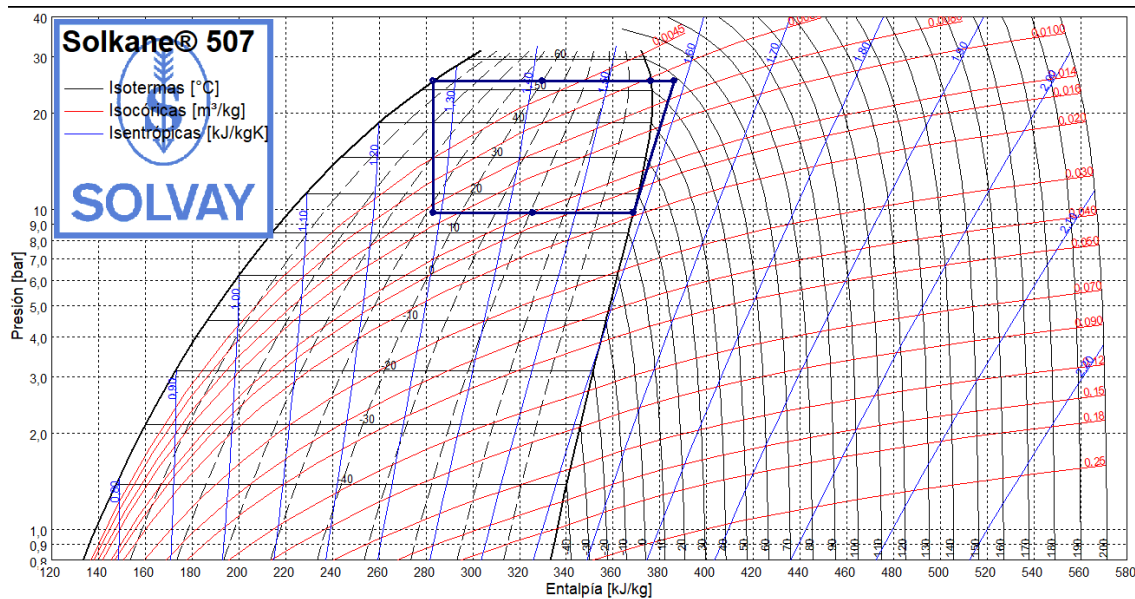
Temp. de vaporización	15,00 °C
Temp. media gas aspirado	15,00 °C
Temp. media gas a presión	58,46 °C
Temp. de licuado	53,00 °C
Subenfriamiento de líquido	0,00 K
Capacidad frigorífica	110 kW

Dimensionamiento de tubo / Proceso de una etapa

Tubería gas aspirado	Tubería de gas a presión	Tubería de líquido	Tubería ascendente gas aspirado	Tubería ascendente gas a presión
----------------------	--------------------------	--------------------	---------------------------------	----------------------------------

Tubería gas aspirado [Cu / EN 12735-1 / Longitud equivalente]

Tubo mas grande siguiente	Diámetro interior [mm]	Tubo mas pequeño siguiente
42 x 1,5 (din39mm)	48,24	54 x 2,0 (din50mm)
Velocidad [m/s]	13,74	12,79
Longitud equivalente [Km]	0,12	0,03
Caja de presión [Pa/m]	3198	920
Pérdida total de presión [K]	1,2	0,3
L=10 m Δp=0,4 K		



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías de los 4 puntos característicos de la compresión mecánica obtenidas con el programa SOLKANE del refrigerante R507A

- $h_1 = 368,67 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 386,16 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 283,16 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 283,16 \text{ kJ/kg}$

$W_{\text{compresor}} = 22,5 \text{ kW}$

Caudal másico = $\dot{m} = 1286,4 \text{ g/s}$

Índice de potencia de enfriamiento = $\text{COP} = 4,89$

6.16.3.2. Tabla comparativa de cálculos a mano y las simulaciones en SOLKANE

Tabla 11, Fuente propia.

R507A	CÁLCULO	SIMULACIÓN	Diferencia en %
h 1 (kJ/kg)	369	368,67	0,089
h 2 (kJ/kg)	387	386,16	0,21
h 3 (kJ/kg)	282	283,16	0,409
h 4 (kJ/kg)	282	283,16	0,409
m (g/s)	1264	1286,4	1,74
W compresor (kW)	22,75	22,5	1,1
COP	4,83	4,89	1,22

$$Diferencia\ en\ \% = \frac{\| Simulación - Cálculo \|}{Simulación} \times 100$$

6.16.4. Cálculo AACC Control de máquinas R507A

Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de Tijarafe.

Datos:

Presión del evaporador = $P_o = 4,5$ bar

Presión del condensador = $P_k = 14$ bar

Cálculos:

Temperatura del evaporador (T_o) a 4,5 bar según tablas del refrigerante R507A = -10°C

Temperatura del condensador (T_k) a 14 bar según tablas del refrigerante R507A = $28,38^{\circ}\text{C}$

Tabla 12, Fuente propia. Cálculo de Temperatura del condensador.

Temperatura	Presión
25	12,81
T_k	14
30	14,57

$$\frac{25 - 30}{12,81 - 14,57} = \frac{T_k - 30}{14 - 14,57}$$

Entalpías de los 4 puntos característicos de la compresión mecánica obtenidas del diagrama (P/h) del refrigerante R507A

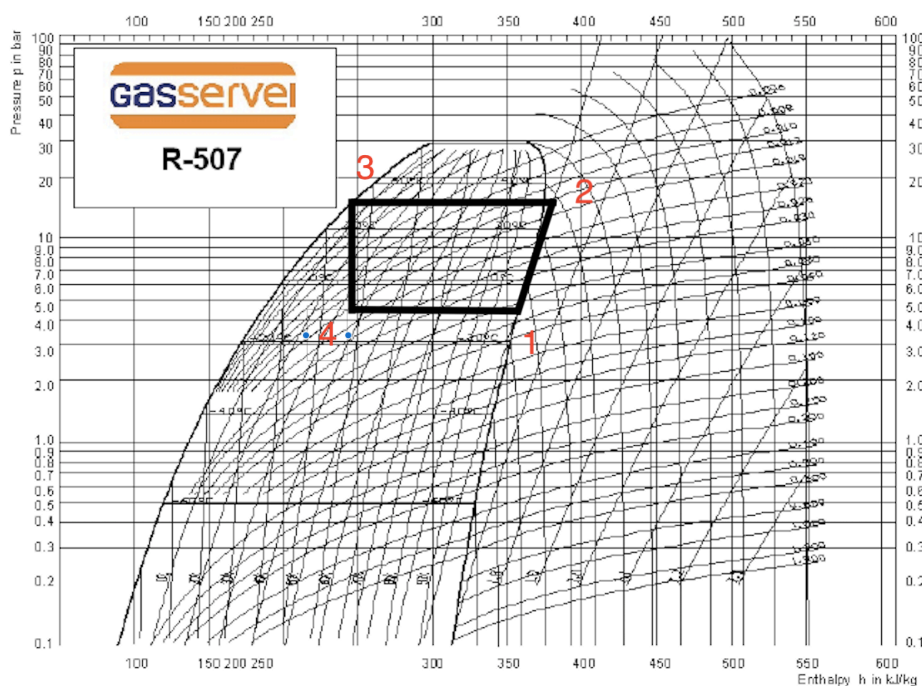


Diagrama obtenido de:

https://www.simagas.es/pdf/gases_refrigernates/Ficha-tecnica-R507.pdf

- $h_1 = 357 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 380 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 241 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 241 \text{ kJ/kg}$

Según datos técnicos de la instalación, esta diseñada para ofrecer una $W_{\text{frigorífica}}$ de 15 kW

$$W_{\text{frigorífica}} = m (h_1 - h_4)$$

$$15 = m (357 - 241)$$

$$m = 0,129 \text{ kg/s} = 129 \text{ g/s}$$

$$W_{\text{compresor}} = m (h_2 - h_1) = 0,129 \times (380 - 357) = 2,974 \text{ kW}$$

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{357 - 241}{380 - 357} = 5,043$$

Comprobación del cálculo:

$$\frac{W_{\text{frigorífica}}}{W_{\text{compresor}}} = COP$$

$$\frac{15}{2,974} = 5,043$$

6.16.4.1. Simulación de la instalación con SOLKANE

SOLKANE 8.0.0 - [SOLKANE® 507]

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 507

t_c 70.62 °C
 P_c 37.05 bar
 v_c 2.038 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
 Temperatura -10.00 °C
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Capacidad frigorífica 15.0 kW

Condensador
 Temperatura 28.38 °C
 Subenfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1.000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Cálculo

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Punto	p bar	t °C	v dm³/kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x
1	4.49	-10.00	42.99	356.88	1.5975	
2s	13.99	32.82	13.71	378.98	1.5975	
2	13.99	32.82	13.71	378.98	1.5975	
3	13.99	32.82	13.71	378.98	1.5975	
3'	13.99	28.38	13.15	373.49	1.5795	
3'4'm	13.99	28.36	7.06	307.32	1.3599	
4'	13.99	28.35	0.97	241.15	1.1403	
4	13.99	28.35	0.97	241.15	1.1403	
5	4.49	-10.02	14.37	241.15	1.1580	0.321
56'm	4.49	-10.01	28.68	299.01	1.3778	
6"	4.49	-10.00	42.99	356.88	1.5975	
6	4.49	-10.00	42.99	356.88	1.5975	

Proceso de una etapa

SOLKANE 8.0.0 - [SOLKANE® 507]

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 507

t_c 70.62 °C
 P_c 37.05 bar
 v_c 2.038 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
 Temperatura -10.00 °C
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Capacidad frigorífica 15.0 kW

Condensador
 Temperatura 28.38 °C
 Subenfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1.000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Cálculo

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Potencias

Proceso de una etapa	
Vaporizador	15.0 kW
Condensador	17.9 kW
Compresor	2.86 kW

Indice de compresión 3.11
 Diferencia de presión 9.50 bar
 Caudal másico 129.61 g/s
 Caudal de volumen desplazado 20.06 m³/h
 Potencia de enfriamiento volúm. 2692 kJ/m³
 Indice de potencia de enfriamiento 5.24

Conducto de gas por aspiración 0.000 kW
 Conducto de gas de presión 0.000 kW

SOLKANE 8.0.0 - [SOLKANE® 507]

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 507

t_c 70.62 °C
 P_c 37.05 bar
 v_c 2.038 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
 Temperatura -10.00 °C
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Capacidad frigorífica 15.0 kW

Condensador
 Temperatura 28.38 °C
 Subenfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1.000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Cálculo

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Sección de tubo

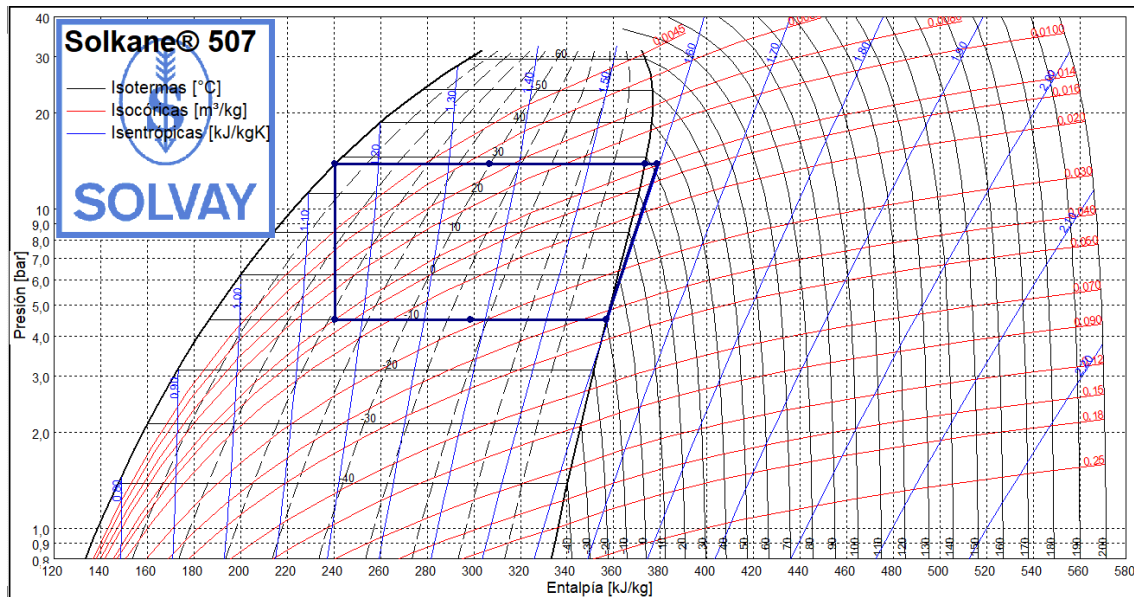
Material	Estándar
Tubería gas aspirado	Cu EN 12735-1
Tubería de gas a presión	Cu EN 12735-1
Tubería de líquido	Cu EN 12735-1
Tubería ascendente gas aspirado	Cu EN 12735-1
Tubería ascendente gas a presión	Cu EN 12735-1

Datos del proceso

Temp. de vaporización	-10.00 °C
Temp. media gas aspirado	-10.00 °C
Temp. media gas a presión	32.82 °C
Temp. de licuado	28.38 °C
Subenfriamiento de líquido	0.00 K
Capacidad frigorífica	15 kW

Dimensionamiento de tubo / Proceso de una etapa

Tubería gas aspirado	Tubería de gas a presión	Tubería de líquido	Tubería ascendente gas aspirado	Tubería ascendente gas a presión
Tubería gas aspirado [Cu / EN 12735-1 / Longitud equivalente]				
Tubo mas grande siguiente		Tubo mas pequeño siguiente		
28 x 1.5 (dn=25mm)		35 x 1.5 (dn=32mm)		
Dímetro interior [mm]		26.46		
Velocidad [m/s]		10.13		
Longitud equivalente [Km]		6.93		
0.05		0.02		
Caida de presión [Pa/m]		614		
812		242		
Pérdida total de presión [K]		0.2		
0.5		L=10 m Δp=0.4 K		



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías de los 4 puntos característicos de la compresión mecánica obtenidas con el programa SOLKANE del refrigerante R507A

- $h_1 = 356,88 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 378,98 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 241,15 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 241,15 \text{ kJ/kg}$

$W_{\text{compresor}} = 2,86 \text{ kW}$

Caudal másico = $m = 129,61 \text{ g/s}$

Índice de potencia de enfriamiento = $\text{COP} = 5,25$

6.16.4.2. Tabla comparativa de cálculos a mano y las simulaciones en SOLKANE

Tabla 13, Fuente propia.

R507A	CÁLCULO	SIMULACIÓN	Diferencia en %
h 1 (kJ/kg)	357	357,88	0,24
h 2 (kJ/kg)	380	378,98	0,79
h 3 (kJ/kg)	241	241,15	0,062
h 4 (kJ/kg)	241	241,15	0,062
m (g/s)	129	129,61	0,47
W compresor (kW)	2,974	2,86	3,98
COP	5,043	5,25	3,94

$$Diferencia\ en\ \% = \frac{\| Simulación - Cálculo \|}{Simulación} \times 100$$

6.16.5. Elección de cálculos

Una vez realizados los cálculos, y realizando una comparación con los resultados obtenidos en la simulación del programa SOLKANE, se llega a la conclusión que las diferencias en los cálculos realizados son pequeñas (inferiores al 4%) y por lo tanto para los demás refrigerantes a estudiar solo se realizarán con la simulación del programa SOLKANE, ya que su funcionamiento ha quedado validado.

6.16.6. Tabla datos SOLKANE del R 507 A

Tabla 14, Fuente propia. Tabla de análisis de los datos del refrigerante R507A

REFRIGERANTE	R507A	R507A	R507A	R507A
LOCAL	Gambuza congelados	Gambuza frescos	AA/CC Central	AA/CC Control de máquinas
Presión min. (Bar)	3,40	6,25	9,77	4,5
Presión max. (Bar)	23,44	23,03	24,8	14
Diferencia de presión (Bar)	20,21	16,30	15,49	9,50
Índice de compresión	6,97	3,61	2,59	3,11
Volum. Específico a P.min.	0,063	0,031	0,019	0,042
Potencia de enfriamiento volum. (kJ/m3)	1326	2846	4380	2692
Caudal volumen desplazado (m3/h) a P. min.	16,29	7,59	90,42	20,06
Q Condensador (kW)	9,01	7,66	132	17,9
DIÁMETRO INTERIOR (mm) tuberías de aspiración	24,31	18,67	48,24	26,46
COP	2,00	3,61	4,89	5,25
CAUDAL MÁSSICO (g/s)	79,795	68,032	1286,4	129,61
WCOMPRESOR (kW)	3,01	1,66	22,5	2,86

6.17. SIMULACIÓN CON SOLKANE R134a

6.17.1 Simulación de gambuzas de congelados

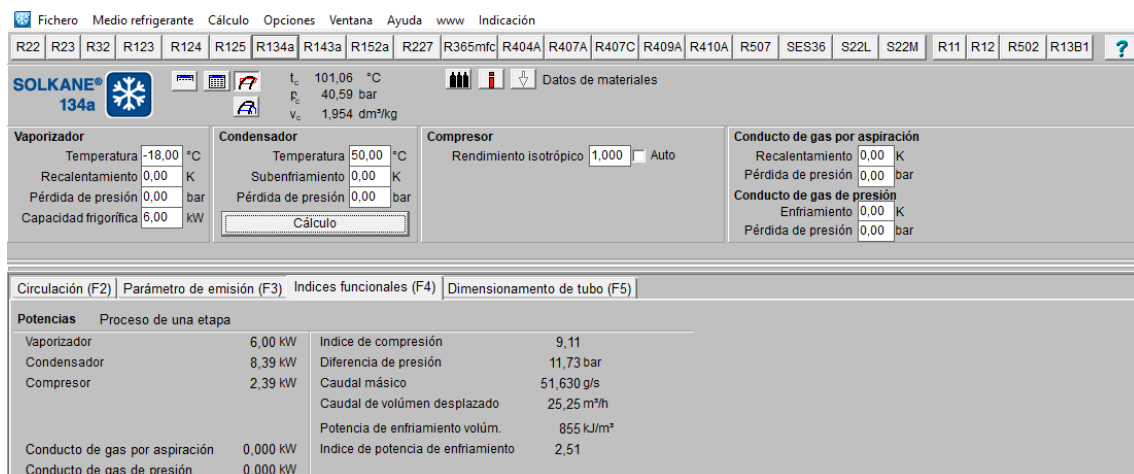
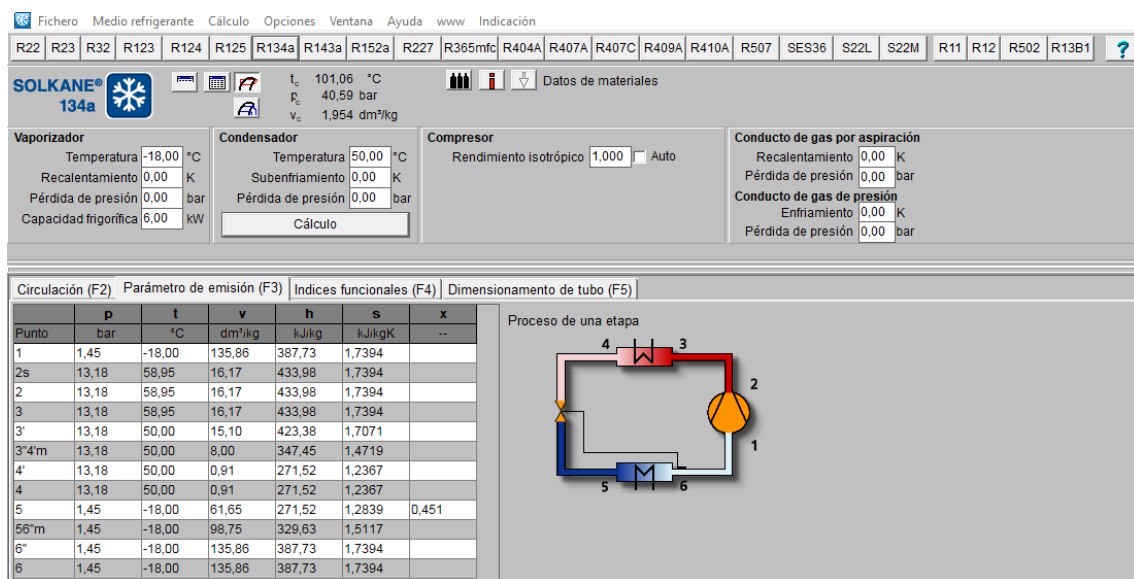
Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de Tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$



Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SE536 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 134a

t_c 101.06 °C
 P_c 40.59 bar
 v_c 1.954 dm³/kg

Vaporizador
 Temperatura -18.00 °C
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Capacidad frigorífica 6.00 kW

Condensador
 Temperatura 50.00 °C
 Subenfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Cálculo

Compresor
 Rendimiento isoentrópico 1.000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
Conducto de gas a presión
 Enfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Circulación (F2) | Parámetro de emisión (F3) | Índices funcionales (F4) | Dimensionamiento de tubo (F5)

Sección de tubo

Material	Estándar
Tubería gas aspirado	Cu EN 12735-1
Tubería de gas a presión	Cu EN 12735-1
Tubería de líquido	Cu EN 12735-1
Tubería ascendente gas aspirado	Cu EN 12735-1
Tubería ascendente gas a presión	Cu EN 12735-1

Datos del proceso

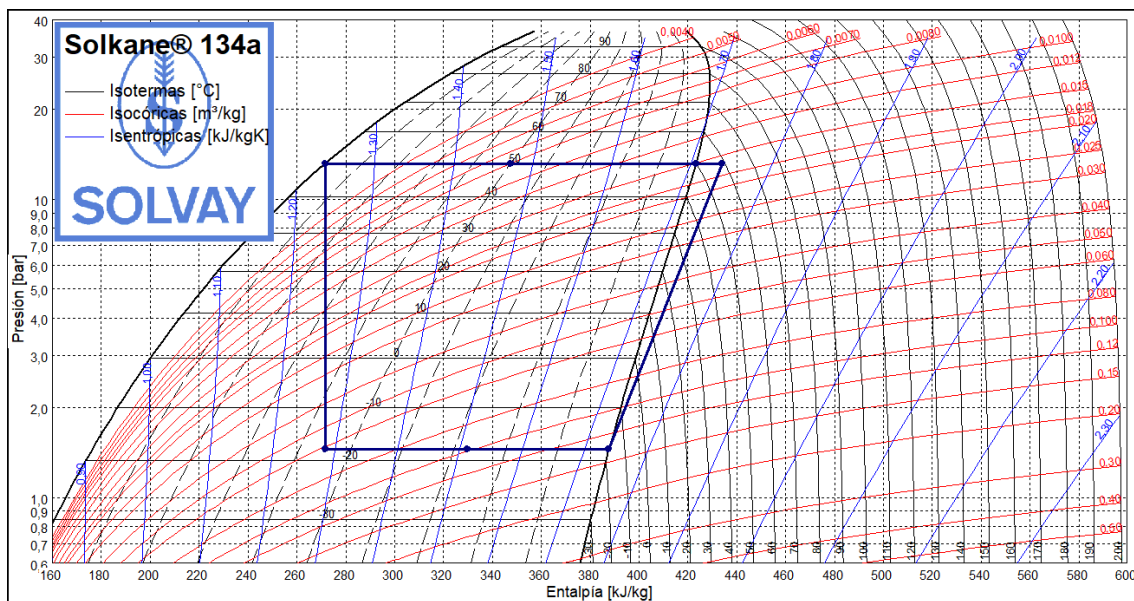
Temp. de vaporización	-18.00 °C
Temp. media gas aspirado	-18.00 °C
Temp. media gas a presión	59.95 °C
Temp. de licuado	50.00 °C
Subenfriamiento de líquido	0.00 K
Capacidad frigorífica	6 kW

Dimensionamiento de tubo / Proceso de una etapa

Tubería gas aspirado | Tubería de gas a presión | Tubería de líquido | Tubería ascendente gas aspirado | Tubería ascendente gas a presión

Tubería gas aspirado [Cu / EN 12735-1 / Longitud equivalente]

Tubo mas grande siguiente	Díámetro interior [mm]	Tubo mas pequeño siguiente
28 x 1.5 (din=25mm)	28.49	35 x 1.5 (din=32mm)
Velocidad [m/s]	11.00	8.72
Longitud equivalente [Km]	0.04	0.02
Caja de presión [Pa/m]	245	140
Pérdida total de presión [K]	0.8	0.2
L=10 m $\Delta p=0.4$ K		



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías:

- $h_1 = 387,63$ kJ/kg
- $h_2 = 433,98$ kJ/kg
- $h_3 = 271,52$ kJ/kg
- $h_4 = 271,52$ kJ/kg

Caudal másico = $m = 51,630$ g/s

$W_{\text{compresor}} = 2,39$ kW

COP = 2,51

6.17.2. Simulación gambuza frescos

Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 48^\circ\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = 0^\circ\text{C}$

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 134a

t_c 101,06 °C
 p_c 40,59 bar
 v_c 1,954 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
Temperatura 0,00 °C
Recalentamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar
Capacidad frigorífica 6,00 kW

Condensador
Temperatura 48,00 °C
Subenfriamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Compresor
Rendimiento isotrópico 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración
Recalentamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Conducto de gas de presión
Enfriamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Cálculo

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Punto	p bar	t °C	v dm³/kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x
1	2,93	0,00	69,28	398,49	1,7267	
2s	12,53	53,20	16,61	428,74	1,7267	
2	12,53	53,20	16,61	428,74	1,7267	
3	12,53	53,20	16,61	428,74	1,7267	
3'	12,53	48,00	15,96	422,63	1,7078	
3'4'm	12,53	48,00	8,43	345,54	1,4676	
4'	12,53	48,00	0,90	268,45	1,2273	
4	12,53	48,00	0,90	268,45	1,2273	
5	2,93	0,00	24,40	268,45	1,2506	0,345
56'm	2,93	0,00	46,84	333,47	1,4887	
6"	2,93	0,00	69,28	398,49	1,7267	
6	2,93	0,00	69,28	398,49	1,7267	

Proceso de una etapa

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 134a

t_c 101,06 °C
 p_c 40,59 bar
 v_c 1,954 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
Temperatura 0,00 °C
Recalentamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar
Capacidad frigorífica 6,00 kW

Condensador
Temperatura 48,00 °C
Subenfriamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Compresor
Rendimiento isotrópico 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración
Recalentamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Conducto de gas de presión
Enfriamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Cálculo

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Potencias Proceso de una etapa

Componente	Potencia (kW)	Índice de compresión	Diferencia de presión (bar)	Caudal másico (g/s)	Caudal de volumen desplazado (m³/h)	Potencia de enfriamiento volúm. (kJ/m³)	Índice de potencia de enfriamiento
Vaporizador	6,00	4,28	9,60	46,141	11,51	1877	4,30
Condensador	7,40						
Compresor	1,40						
Conducto de gas por aspiración	0,000						
Conducto de gas de presión	0,000						

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SE336 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 134a

t_c 101.06 °C
 P_c 40.59 bar
 v_c 1.954 dm³/kg

Vaporizador
 Temperatura 0.00 °C
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Capacidad frigorífica 6.00 kW

Condensador
 Temperatura 48.00 °C
 Subenfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1.000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Cálculo

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Sección de tubo

Material	Estándar
Tubería gas aspirado	Cu EN 12735-1
Tubería de gas a presión	Cu EN 12735-1
Tubería de líquido	Cu EN 12735-1
Tubería ascendente gas aspirado	Cu EN 12735-1
Tubería ascendente gas a presión	Cu EN 12735-1

Datos del proceso

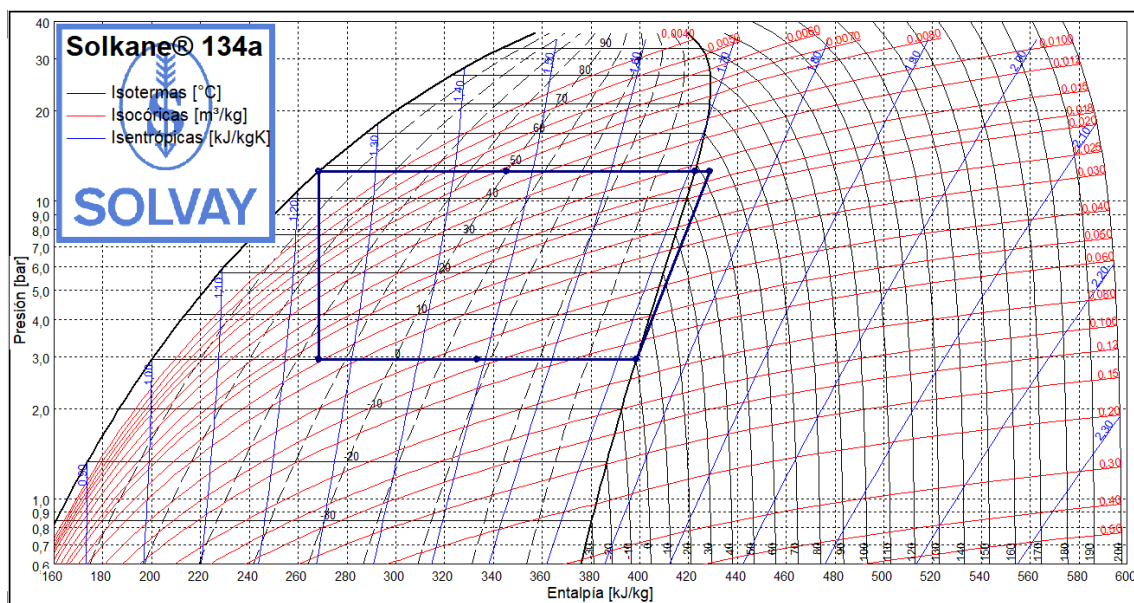
Temp. de vaporización	0.00 °C
Temp. media gas aspirado	0.00 °C
Temp. media gas a presión	53.20 °C
Temp. de licuado	48.00 °C
Subenfriamiento de líquido	0.00 K
Capacidad frigorífica	6 kW

Dimensionamiento de tubo / Proceso de una etapa

Tubería gas aspirado Tubería de gas a presión Tubería de líquido Tubería ascendente gas aspirado Tubería ascendente gas a presión

Tubería gas aspirado [Cu / EN 12735-1 / Longitud equivalente]

Tubo mas grande siguiente	Diámetro interior [mm]	Tubo mas pequeño siguiente
22 x 1.0 (din=20mm)	21.30	28 x 1.5 (din=25mm)
Velocidad [m/s]	8.97	6.51
Longitud equivalente [Km]	0.04	0.02
Caja de presión [Pa/m]	576	194
Pérdida total de presión [K]	0.5	0.2
$L=10$ m $\Delta p=0.4$ K		



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías:

- $h_1 = 398,49$ kJ/kg
- $h_2 = 428,78$ kJ/kg
- $h_3 = 268,45$ kJ/kg
- $h_4 = 268,45$ kJ/kg

Caudal másico = $\dot{m} = 46,141$ g/s

$W_{\text{compresor}} = 1,40$ kW

COP = 4,30

6.17.3. Simulación AACC central

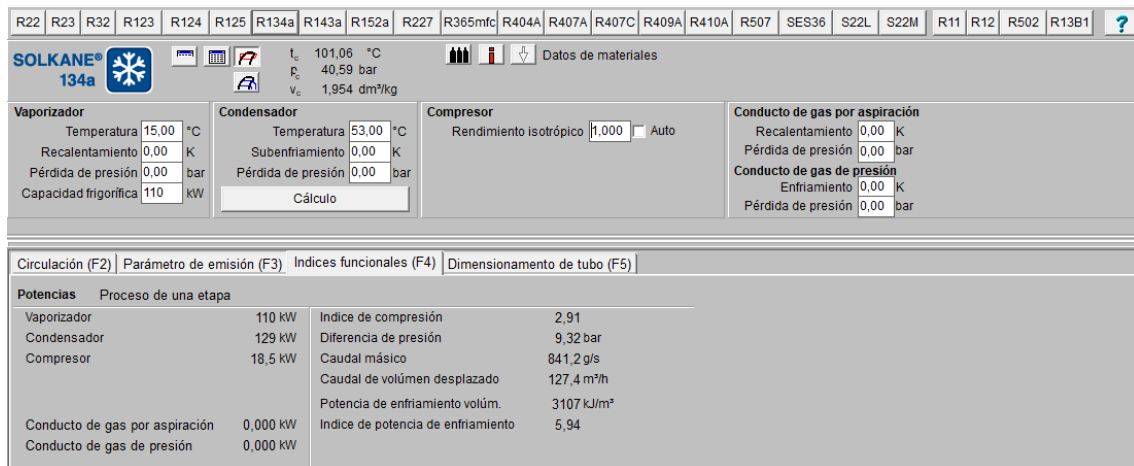
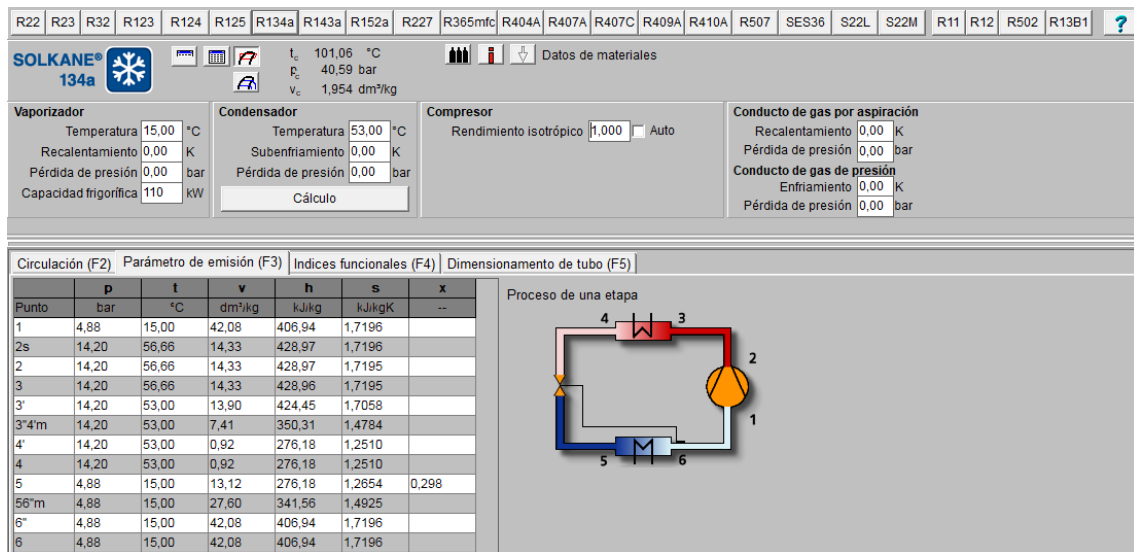
Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 53\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$



R22	R32	R123	R124	R125	R134a	R143a	R152a	R227	R365mfc	R404A	R407A	R407C	R409A	R410A	R507	SE336	S22L	S22M	R11	R12	R502	R13B1	?
-----	-----	------	------	------	-------	-------	-------	------	---------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	------	------	-----	-----	------	-------	---

SOLKANE® 134a

 t_c 101,06 °C

 P_c 40,59 bar

 v_c 1,954 dm³/kg

 Datos de materiales

Vaporizador Temperatura 15,00 °C Recalentamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Capacidad frigorífica 110 kW	Condensador Temperatura 53,00 °C Subenfriamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Cálculo	Compresor Rendimiento isentrópico 1,000 Auto	Conducto de gas por aspiración Recalentamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Conducto de gas de presión Enfriamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar
---	--	--	---

Circulación (F2) | Parámetro de emisión (F3) | Índices funcionales (F4) | Dimensionamiento de tubo (F5)

Sección de tubo	Material	Estándar
Tubería gas aspirado	Cu	EN 12735-1
Tubería de gas a presión	Cu	EN 12735-1
Tubería de líquido	Cu	EN 12735-1
Tubería ascendente gas aspirado	Cu	EN 12735-1
Tubería ascendente gas a presión	Cu	EN 12735-1

Datos del proceso

 Temp. de vaporización 15,00 °C

 Temp. media gas aspirado 15,00 °C

 Temp. media gas a presión 56,66 °C

 Temp. de licuado 53,00 °C

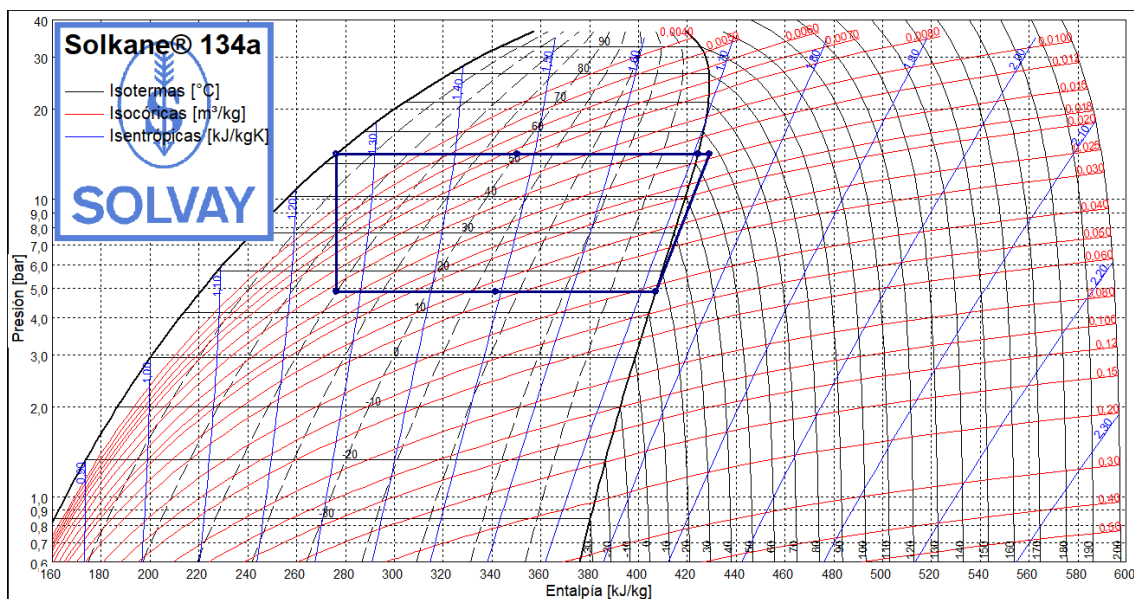
 Subenfriamiento de líquido 0,00 K

 Capacidad frigorífica 110 kW

Dimensionamiento de tubo / Proceso de una etapa

 Tubería gas aspirado | Tubería de gas a presión | Tubería de líquido | Tubería ascendente gas aspirado | Tubería ascendente gas a presión

Tubería gas aspirado [Cu / EN 12735-1 / Longitud equivalente]		
Tubo mas grande siguiente	Tubo mas pequeño siguiente	
54 x 2,0 (da=50mm)	64 x 2,0 (da=50mm)	
18,03	12,52	
0,06	0,02	
880	357	
0,6	0,2	



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isentrópico es 1.

Entalpías:

- $h_1 = 406,98 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 428,97 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 276,18 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 276,18 \text{ kJ/kg}$

Caudal másico = $m = 841,2 \text{ g/s}$

$W_{\text{compresor}} = 18,5 \text{ kW}$

$\text{COP} = 5,94$

6.17.4. Simulación de AACC control de máquinas

Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 28,38^\circ\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = -10^\circ\text{C}$

SOLKANE® 134a

Propiedades físicas:

- t_c : 101,06 °C
- P_c : 40,59 bar
- v_c : 1,954 dm³/kg

Vaporizador

- Temperatura: -10,00 °C
- Recalentamiento: 0,00 K
- Pérdida de presión: 0,00 bar
- Capacidad frigorífica: 15,0 kW

Condensador

- Temperatura: 28,00 °C
- Subenfriamiento: 0,00 K
- Pérdida de presión: 0,00 bar

Compresor

- Rendimiento isotrópico: 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración

- Recalentamiento: 0,00 K
- Pérdida de presión: 0,00 bar

Conducto de gas de presión

- Enfriamiento: 0,00 K
- Pérdida de presión: 0,00 bar

Cálculo

Punto	p	t	v	h	s	x
	bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kgK	—
1	2,01	-10,00	99,54	392,58	1,7331	
2s	7,27	33,44	29,21	419,27	1,7331	
2	7,27	33,44	29,21	419,27	1,7331	
3	7,27	33,44	29,21	419,27	1,7331	
3'	7,27	28,00	28,27	413,71	1,7148	
3"4m	7,27	28,00	14,55	326,33	1,4242	
4'	7,27	28,00	0,84	238,96	1,1336	
4	7,27	28,00	0,84	238,96	1,1336	
5	2,01	-10,00	25,85	238,96	1,1494	0,254
5"6m	2,01	-10,00	62,70	315,77	1,4412	
6"	2,01	-10,00	99,54	392,58	1,7331	
6	2,01	-10,00	99,54	392,58	1,7331	

Proceso de una etapa

SOLKANE® 134a

Propiedades físicas:

- t_c : 101,06 °C
- P_c : 40,59 bar
- v_c : 1,954 dm³/kg

Vaporizador

- Temperatura: -10,00 °C
- Recalentamiento: 0,00 K
- Pérdida de presión: 0,00 bar
- Capacidad frigorífica: 15,0 kW

Condensador

- Temperatura: 28,00 °C
- Subenfriamiento: 0,00 K
- Pérdida de presión: 0,00 bar

Compresor

- Rendimiento isotrópico: 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración

- Recalentamiento: 0,00 K
- Pérdida de presión: 0,00 bar

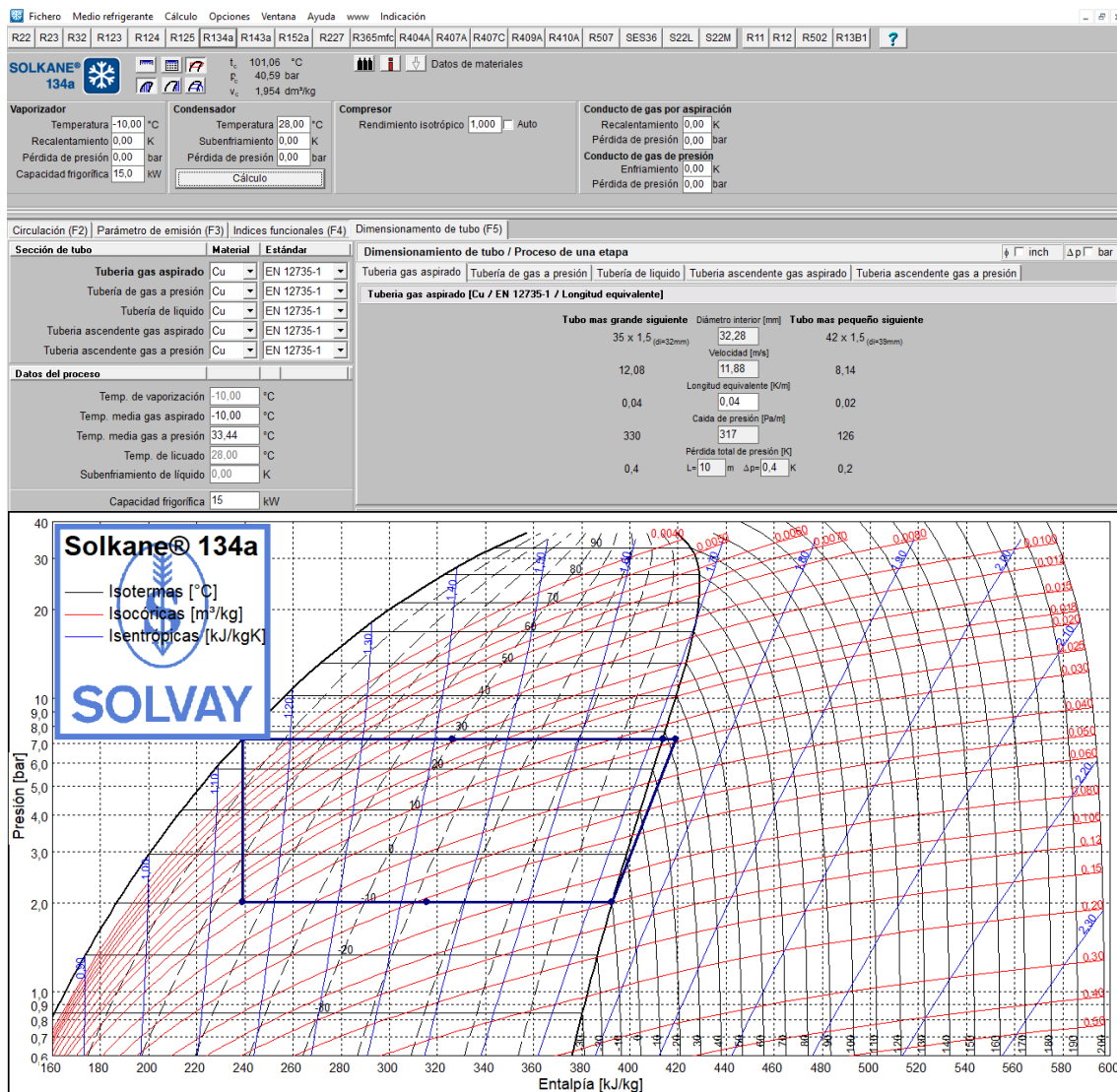
Conducto de gas de presión

- Enfriamiento: 0,00 K
- Pérdida de presión: 0,00 bar

Cálculo

Potencias	Proceso de una etapa
Vaporizador	15,0 kW
Condensador	17,6 kW
Compresor	2,61 kW
Conducto de gas por aspiración	0,000 kW
Conducto de gas de presión	0,000 kW

Índice de compresión	3,62
Diferencia de presión	5,26 bar
Caudal másico	97,64 g/s
Caudal de volumen desplazado	34,99 m³/h
Potencia de enfriamiento volúm.	1543 kJ/m³
Índice de potencia de enfriamiento	5,76



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías:

- $h_1 = 392,58 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 419,27 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 238,96 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 238,96 \text{ kJ/kg}$

Caudal másico = $m = 97,64 \text{ g/s}$

$W_{\text{compresor}} = 2,61 \text{ kW}$

$\text{COP} = 5,76$

6.17.5. Tabla datos SOLKANE R134a

Tabla 15, Fuente propia. Tabla de análisis de los datos refrigerante R134a.

REFRIGERANTE	R134a	R134a	R134a	R134a
LOCAL	Gambuza congelados	Gambuza frescos	AA/CC Central	AA/CC Control de máquinas
Presión min. (Bar)	1,6	2,9	4,9	2
Presión max. (Bar)	15	13	16	7,2
Diferencia de presión (Bar)	11,73	9,60	9,32	5,26
Índice de compresión	9,11	4,28	2,91	3,62
Volum. Específico a P.min.	0,135	0,070	0,042	0,1
Potencia de enfriamiento volum. (kJ/m3)	855	1877	3107	1543
Caudal volumen desplazado (m3/h) a P. min.	25,25	11,51	127,4	34,99
Q Condensador (kW)	8,39	7,40	129	17,6
DIÁMETRO INTERIOR (mm) tuberías de aspiración	28,49	21,3	53,54	32,26
COP	2,51	4,3	5,94	5,76
CAUDAL MÁSSICO (g/s)	51,63	46,141	841,2	97,64
WCOMPRESOR (kW)	2,39	1,40	18,5	2,61

6.18. SIMULACIÓN CON SOLKANE REFRIGERANTE R404A

6.18.1 Simulación gambuzas de congelados

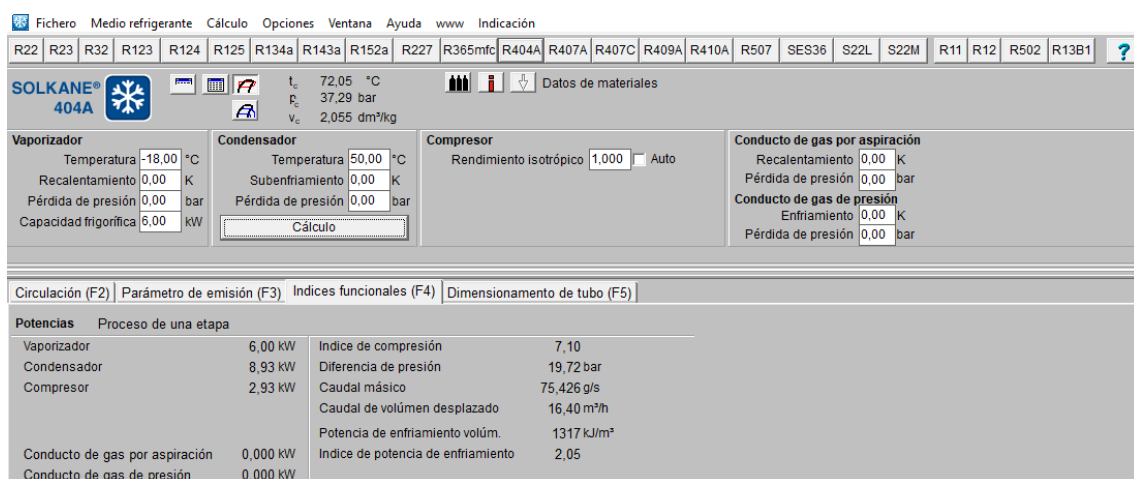
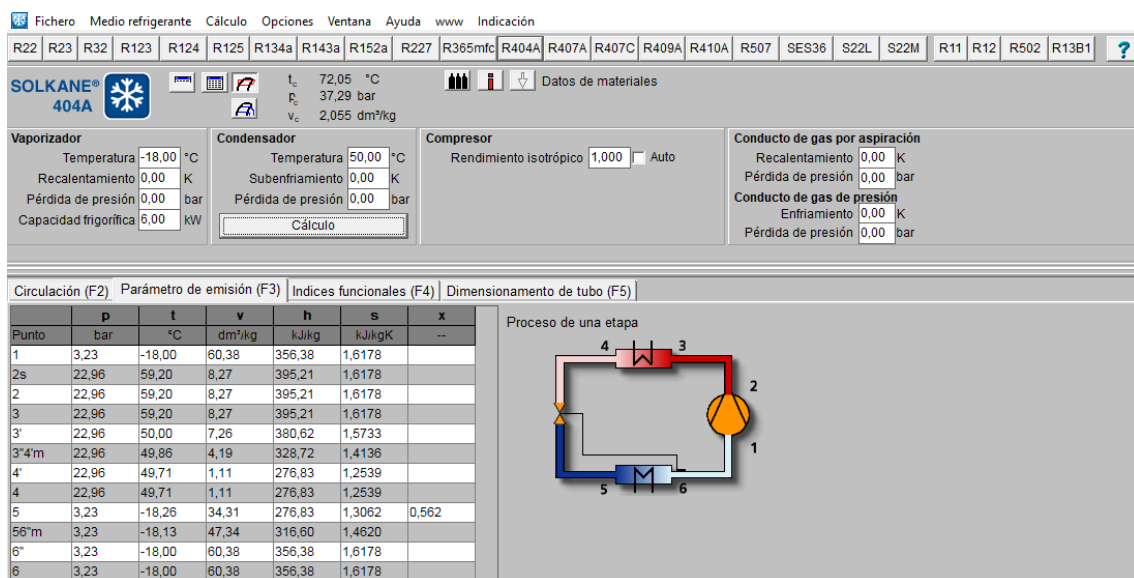
Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de Tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 50^\circ\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = -18^\circ\text{C}$



Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 404A

t_c 72.05 °C
 P_c 37.29 bar
 v_c 2.055 dm³/kg

Vaporizador
 Temperatura -18.00 °C
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar
 Capacidad frigorífica 6.00 kW

Condensador
 Temperatura 50.00 °C
 Subenfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1.000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0.00 K
 Pérdida de presión 0.00 bar

Dimensionamiento de tubo (F5)

Sección de tubo Material Estándar

Tubería gas aspirado Cu EN 12735-1

Tubería de gas a presión Cu EN 12735-1

Tubería de líquido Cu EN 12735-1

Tubería ascendente gas aspirado Cu EN 12735-1

Tubería ascendente gas a presión Cu EN 12735-1

Datos del proceso

Temp. de vaporización -18.00 °C

Temp. media gas aspirado -18.00 °C

Temp. media gas a presión 59.20 °C

Temp. de licuado 50.00 °C

Subenfriamiento de líquido 0.00 K

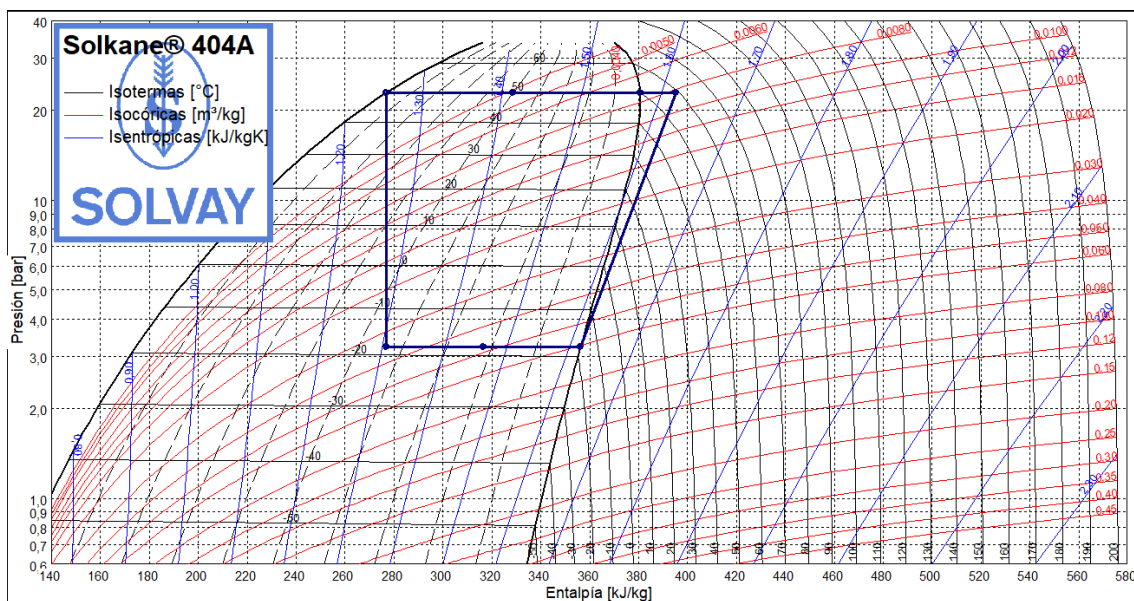
Capacidad frigorífica 6 kW

Dimensionamiento de tubo / Proceso de una etapa

Tubería gas aspirado Tubería de gas a presión Tubería de líquido Tubería ascendente gas aspirado Tubería ascendente gas a presión

Tubería gas aspirado [Cu / EN 12735-1 / Longitud equivalente]

Tubo mas grande siguiente	Díámetro interior [mm]	Tubo mas pequeño siguiente
22 x 1,0 (dn=20mm)	24.27	28 x 1,5 (dn=25mm)
Velocidad [m/s]	9.85	9.28
Longitud equivalente [K/m]	0.04	0.03
Caida de presión [Pa/m]	479	414
Pérdida total de presión [K]	10	0.3



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías:

- $h_1 = 356,38 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 395,21 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 276,83 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 276,83 \text{ kJ/kg}$

Caudal másico = $\dot{m} = 75,426 \text{ g/s}$

$W_{\text{compresor}} = 2,93 \text{ kW}$

$\text{COP} = 2,05$

6.18.2. Simulación gambuza frescos

Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 48\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 404A

t_c 72,05 $^{\circ}\text{C}$
 p_c 37,29 bar
 v_c 2,055 dm^3/kg

Datos de materiales

Vaporizador
 Temperatura 0,00 $^{\circ}\text{C}$
 Recalentamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar
 Capacidad frigorífica 6,00 kW

Condensador
 Temperatura 48,00 $^{\circ}\text{C}$
 Subenfriamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

Cálculo

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Punto	p bar	t $^{\circ}\text{C}$	v dm^3/kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x
1	6,00	0,00	32,81	365,78	1,6074	
2s	21,92	54,50	8,47	390,91	1,6074	
2	21,92	54,50	8,47	390,91	1,6074	
3	21,92	54,50	8,47	390,91	1,6074	
3'	21,92	48,00	7,73	380,72	1,5759	
3'4'm	21,92	47,85	4,41	326,92	1,4092	
4'	21,92	47,70	1,09	273,11	1,2424	
4	21,92	47,70	1,09	273,11	1,2424	
5	6,00	-0,29	15,01	273,11	1,2674	0,443
56'm	6,00	-0,14	23,91	319,45	1,4374	
6"	6,00	0,00	32,81	365,78	1,6074	
6	6,00	0,00	32,81	365,78	1,6074	

Proceso de una etapa

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 404A

t_c 72,05 $^{\circ}\text{C}$
 p_c 37,29 bar
 v_c 2,055 dm^3/kg

Datos de materiales

Vaporizador
 Temperatura 0,00 $^{\circ}\text{C}$
 Recalentamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar
 Capacidad frigorífica 6,00 kW

Condensador
 Temperatura 48,00 $^{\circ}\text{C}$
 Subenfriamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

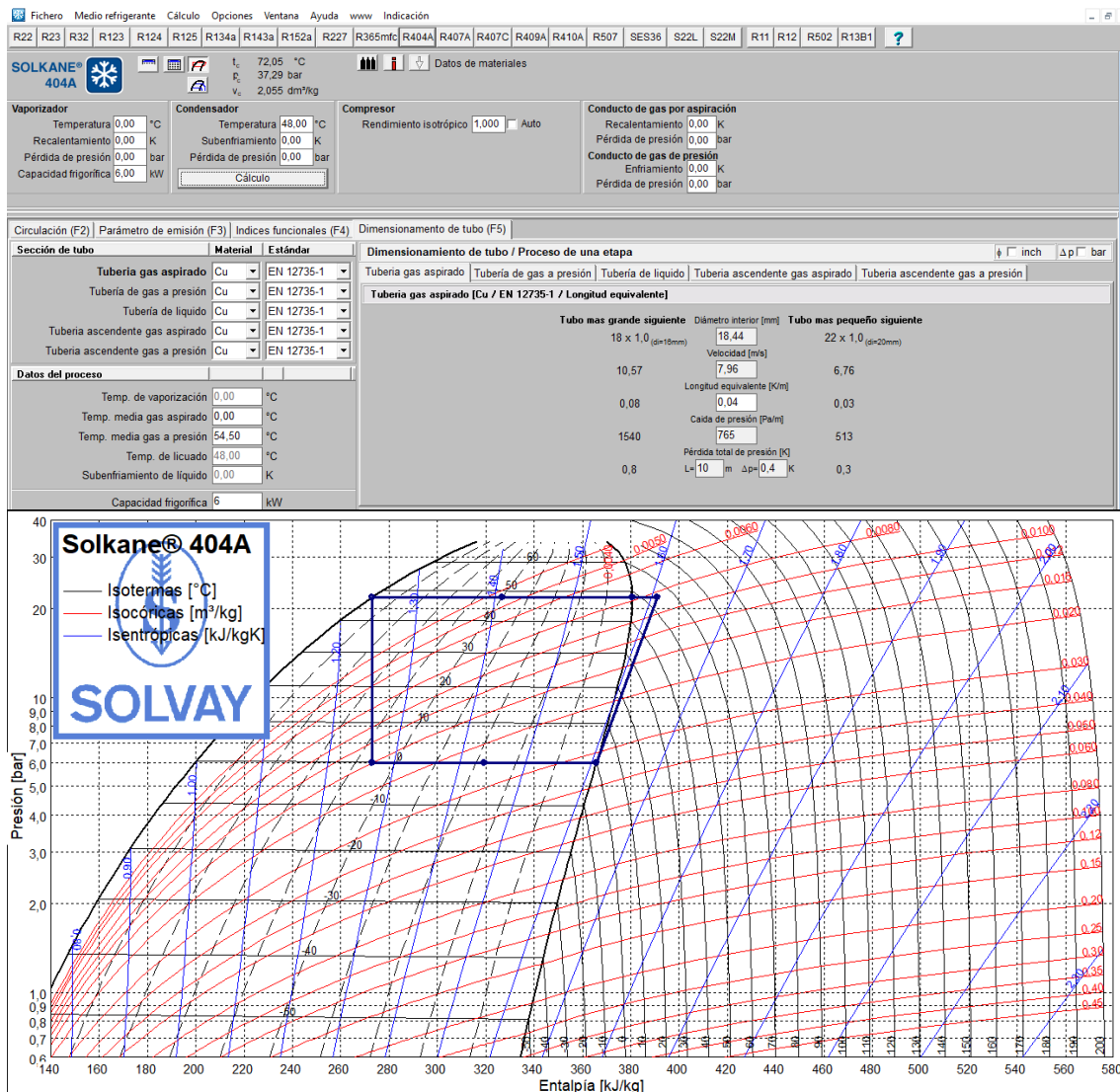
Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

Cálculo

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Potencias Proceso de una etapa

Vaporizador	6,00 kW	Índice de compresión	3,65
Condensador	7,63 kW	Diferencia de presión	15,92 bar
Compresor	1,63 kW	Caudal másico	64,743 g/s
		Caudal de volumen desplazado	7,65 m^3/h
		Potencia de enfriamiento volúm.	2824 kJ/m^3
Conducto de gas por aspiración	0,000 kW	Índice de potencia de enfriamiento	3,69
Conducto de gas de presión	0,000 kW		



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías:

- $h_1 = 365,78 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 390,91 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 273,11 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 273,11 \text{ kJ/kg}$

Caudal másico = $\dot{m} = 64,743 \text{ g/s}$

$W_{\text{compresor}} = 1,63 \text{ kW}$

$\text{COP} = 3,69$

6.18.3. Simulación AACC central

Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de Tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 53\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

R22	R23	R32	R123	R124	R125	R134a	R143a	R152a	R227	R365mfc	R404A	R407A	R407C	R409A	R410A	R507	SES36	S22L	S22M	R11	R12	R502	R13B1	?																																																																																																	
SOLKANES® 404A																																																																																																																									
t _c 72,05 °C p _c 37,29 bar v _c 2,055 dm³/kg																																																																																																																									
Datos de materiales																																																																																																																									
Vaporizador Temperatura 15,00 °C Recalentamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Capacidad frigorífica 110 kW						Condensador Temperatura 53,00 °C Subenfriamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Cálculo						Compresor Rendimiento isotrópico 1,000 Auto						Conducto de gas por aspiración Recalentamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Conducto de gas de presión Enfriamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar																																																																																																							
Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)																																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Punto</th><th>p</th><th>t</th><th>v</th><th>h</th><th>s</th><th>x</th></tr> <tr> <th></th><th>bar</th><th>°C</th><th>dm³/kg</th><th>kJ/kg</th><th>kJ/kgK</th><th>--</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>9,43</td><td>15,00</td><td>20,62</td><td>372,60</td><td>1,6001</td><td></td></tr> <tr><td>2s</td><td>24,58</td><td>58,94</td><td>7,29</td><td>390,59</td><td>1,6001</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>24,58</td><td>58,94</td><td>7,29</td><td>390,59</td><td>1,6001</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>24,58</td><td>58,94</td><td>7,29</td><td>390,59</td><td>1,6001</td><td></td></tr> <tr><td>3'</td><td>24,58</td><td>53,00</td><td>6,59</td><td>380,24</td><td>1,5687</td><td></td></tr> <tr><td>3*4'm</td><td>24,58</td><td>52,87</td><td>3,87</td><td>331,43</td><td>1,4200</td><td></td></tr> <tr><td>4'</td><td>24,58</td><td>52,73</td><td>1,14</td><td>282,62</td><td>1,2714</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>24,58</td><td>52,73</td><td>1,14</td><td>282,62</td><td>1,2714</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>9,43</td><td>14,73</td><td>8,93</td><td>282,62</td><td>1,2865</td><td>0,407</td></tr> <tr><td>56'm</td><td>9,43</td><td>14,87</td><td>14,77</td><td>327,61</td><td>1,4433</td><td></td></tr> <tr><td>6"</td><td>9,43</td><td>15,00</td><td>20,62</td><td>372,60</td><td>1,6001</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>9,43</td><td>15,00</td><td>20,62</td><td>372,60</td><td>1,6001</td><td></td></tr> </tbody> </table>												Punto	p	t	v	h	s	x		bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kgK	--	1	9,43	15,00	20,62	372,60	1,6001		2s	24,58	58,94	7,29	390,59	1,6001		2	24,58	58,94	7,29	390,59	1,6001		3	24,58	58,94	7,29	390,59	1,6001		3'	24,58	53,00	6,59	380,24	1,5687		3*4'm	24,58	52,87	3,87	331,43	1,4200		4'	24,58	52,73	1,14	282,62	1,2714		4	24,58	52,73	1,14	282,62	1,2714		5	9,43	14,73	8,93	282,62	1,2865	0,407	56'm	9,43	14,87	14,77	327,61	1,4433		6"	9,43	15,00	20,62	372,60	1,6001		6	9,43	15,00	20,62	372,60	1,6001		Proceso de una etapa 											
Punto	p	t	v	h	s	x																																																																																																																			
	bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kgK	--																																																																																																																			
1	9,43	15,00	20,62	372,60	1,6001																																																																																																																				
2s	24,58	58,94	7,29	390,59	1,6001																																																																																																																				
2	24,58	58,94	7,29	390,59	1,6001																																																																																																																				
3	24,58	58,94	7,29	390,59	1,6001																																																																																																																				
3'	24,58	53,00	6,59	380,24	1,5687																																																																																																																				
3*4'm	24,58	52,87	3,87	331,43	1,4200																																																																																																																				
4'	24,58	52,73	1,14	282,62	1,2714																																																																																																																				
4	24,58	52,73	1,14	282,62	1,2714																																																																																																																				
5	9,43	14,73	8,93	282,62	1,2865	0,407																																																																																																																			
56'm	9,43	14,87	14,77	327,61	1,4433																																																																																																																				
6"	9,43	15,00	20,62	372,60	1,6001																																																																																																																				
6	9,43	15,00	20,62	372,60	1,6001																																																																																																																				

R22	R23	R32	R123	R124	R125	R134a	R143a	R152a	R227	R365mfc	R404A	R407A	R407C	R409A	R410A	R507	SES36	S22L	S22M	R11	R12	R502	R13B1	?																															
SOLKANES® 404A																																																							
t _c 72,05 °C p _c 37,29 bar v _c 2,055 dm³/kg																																																							
Datos de materiales																																																							
Vaporizador Temperatura 15,00 °C Recalentamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Capacidad frigorífica 110 kW						Condensador Temperatura 53,00 °C Subenfriamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Cálculo						Compresor Rendimiento isotrópico 1,000 Auto						Conducto de gas por aspiración Recalentamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Conducto de gas de presión Enfriamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar																																					
Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Potencias</th><th>Proceso de una etapa</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vaporizador</td><td>110 kW</td><td>Índice de compresión</td><td>2,61</td></tr> <tr> <td>Condensador</td><td>132 kW</td><td>Diferencia de presión</td><td>15,15 bar</td></tr> <tr> <td>Compresor</td><td>22,0 kW</td><td>Caudal másico</td><td>1222,5 g/s</td></tr> <tr> <td></td><td></td><td>Caudal de volumen desplazado</td><td>90,73 m³/h</td></tr> <tr> <td></td><td></td><td>Potencia de enfriamiento volúm.</td><td>4364 kJ/m³</td></tr> <tr> <td>Conducto de gas por aspiración</td><td>0,000 kW</td><td>Índice de potencia de enfriamiento</td><td>5,00</td></tr> <tr> <td>Conducto de gas de presión</td><td>0,000 kW</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>																								Potencias	Proceso de una etapa			Vaporizador	110 kW	Índice de compresión	2,61	Condensador	132 kW	Diferencia de presión	15,15 bar	Compresor	22,0 kW	Caudal másico	1222,5 g/s			Caudal de volumen desplazado	90,73 m³/h			Potencia de enfriamiento volúm.	4364 kJ/m³	Conducto de gas por aspiración	0,000 kW	Índice de potencia de enfriamiento	5,00	Conducto de gas de presión	0,000 kW		
Potencias	Proceso de una etapa																																																						
Vaporizador	110 kW	Índice de compresión	2,61																																																				
Condensador	132 kW	Diferencia de presión	15,15 bar																																																				
Compresor	22,0 kW	Caudal másico	1222,5 g/s																																																				
		Caudal de volumen desplazado	90,73 m³/h																																																				
		Potencia de enfriamiento volúm.	4364 kJ/m³																																																				
Conducto de gas por aspiración	0,000 kW	Índice de potencia de enfriamiento	5,00																																																				
Conducto de gas de presión	0,000 kW																																																						

R22	R23	R32	R123	R124	R125	R134a	R143a	R152a	R227	R365mfc	R404A	R407A	R407C	R409A	R410A	R507	SE36	S22L	S22M	R11	R12	R502	R13B1	?
-----	-----	-----	------	------	------	-------	-------	-------	------	---------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	-----	-----	------	-------	---

SOLKANE® 404A

t_c 72,05 °C
 R_c 37,29 bar
 v_c 2,055 dm³/kg

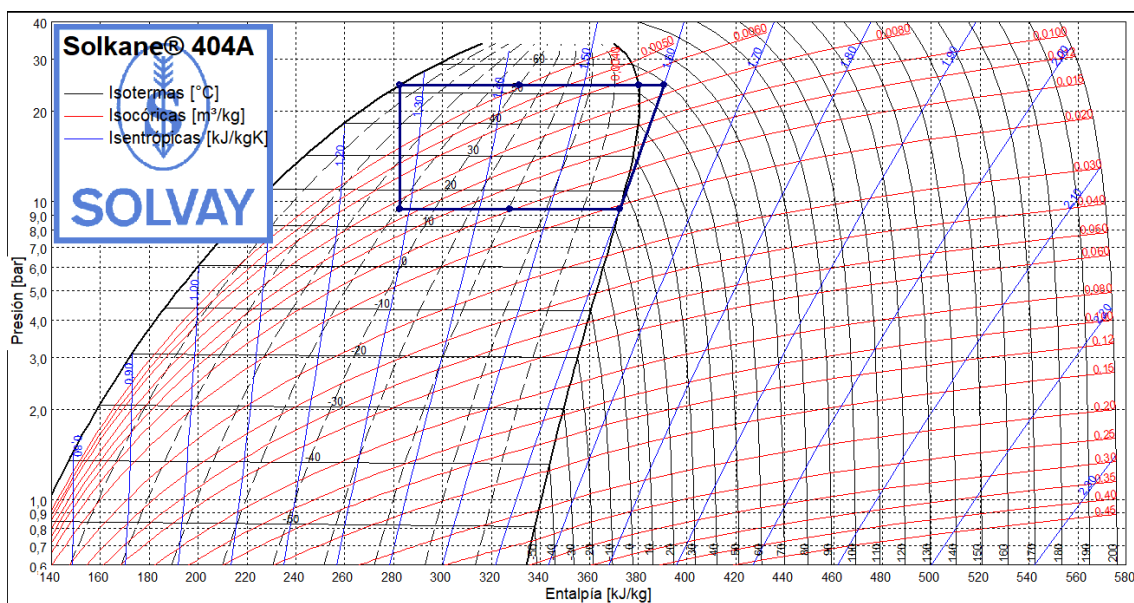
Datos de materiales

Vaporizador Temperatura 15,00 °C Recalentamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Capacidad frigorífica 110 kW	Condensador Temperatura 53,00 °C Subenfriamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Cálculo	Compresor Rendimiento isoentrópico 1,000 Auto	Conducto de gas por aspiración Recalentamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Conducto de gas de presión Enfriamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar
---	--	---	---

Circulación (F2) | Parámetro de emisión (F3) | Índices funcionales (F4) | Dimensionamiento de tubo (F5)

Sección de tubo Tuberia gas aspirado Cu EN 12735-1 Tuberia de gas a presión Cu EN 12735-1 Tuberia de liquido Cu EN 12735-1 Tuberia ascendente gas aspirado Cu EN 12735-1 Tuberia ascendente gas a presión Cu EN 12735-1	Dimensionamiento de tubo / Proceso de una etapa Tuberia gas aspirado Tuberia de gas a presión Tuberia de liquido Tuberia ascendente gas aspirado Tuberia ascendente gas a presión Tuberia gas aspirado [Cu / EN 12735-1 / Longitud equivalente] <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tubo mas grande siguiente</th> <th>Diámetro interior (mm)</th> <th>Tubo mas pequeño siguiente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>42 x 1,5 (din=39mm)</td> <td>48,07</td> <td>54 x 2,0 (din=50mm)</td> </tr> <tr> <td>21,10</td> <td>13,89</td> <td>12,84</td> </tr> <tr> <td>0,11</td> <td>Longitud equivalente [Km]</td> <td>0,03</td> </tr> <tr> <td>3059</td> <td>Caja de presión [Palm]</td> <td>881</td> </tr> <tr> <td>1,1</td> <td>Pérdida total de presión [K]</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L=10 m Δp=0,4 K</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Tubo mas grande siguiente	Diámetro interior (mm)	Tubo mas pequeño siguiente	42 x 1,5 (din=39mm)	48,07	54 x 2,0 (din=50mm)	21,10	13,89	12,84	0,11	Longitud equivalente [Km]	0,03	3059	Caja de presión [Palm]	881	1,1	Pérdida total de presión [K]	0,3		L=10 m Δp=0,4 K	
Tubo mas grande siguiente	Diámetro interior (mm)	Tubo mas pequeño siguiente																				
42 x 1,5 (din=39mm)	48,07	54 x 2,0 (din=50mm)																				
21,10	13,89	12,84																				
0,11	Longitud equivalente [Km]	0,03																				
3059	Caja de presión [Palm]	881																				
1,1	Pérdida total de presión [K]	0,3																				
	L=10 m Δp=0,4 K																					

Datos del proceso
 Temp. de vaporización 15,00 °C
 Temp. media gas aspirado 15,00 °C
 Temp. media gas a presión 58,94 °C
 Temp. de licuado 53,00 °C
 Subenfriamiento de liquido 0,00 K
 Capacidad frigorífica 110 kW



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías:

- $h_1 = 372,60$ kJ/kg
- $h_2 = 390,59$ kJ/kg
- $h_3 = 282,62$ kJ/kg
- $h_4 = 282,62$ kJ/kg

Caudal másico = $m = 1222,5$ g/s

$W_{compresor} = 22$ kW

COP = 5

6.18.4. Simulación AACC control de máquinas

Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de Tijarafe.

Datos:

Presión del evaporador = $P_o = 4,5$ bar

Presión del condensador = $P_k = 14$ bar

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 404A

t_c 72,05 °C
 P_c 37,29 bar
 v_c 2,055 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
Temperatura -10,00 °C
Recalentamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar
Capacidad frigorífica 15,0 kW

Condensador
Temperatura 28,00 °C
Subenfriamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Compresor
Rendimiento isotrópico 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración
Recalentamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Conducto de gas de presión
Enfriamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Cálculo

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Punto	p bar	t °C	v dm³/kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x --
1	4,31	-10,00	45,65	360,69	1,6127	
2s	13,43	32,85	14,66	383,26	1,6127	
2	13,43	32,85	14,66	383,26	1,6127	
3	13,43	32,85	14,66	383,26	1,6127	
3'	13,43	28,00	14,03	377,34	1,5932	
3"4m	13,43	27,80	7,50	308,76	1,3647	
4'	13,43	27,61	0,97	240,19	1,1362	
4	13,43	27,61	0,97	240,19	1,1362	
5	4,31	-10,38	14,81	240,19	1,1548	0,312
5"6m	4,31	-10,19	30,23	300,44	1,3838	
6"	4,31	-10,00	45,65	360,69	1,6127	
6	4,31	-10,00	45,65	360,69	1,6127	

Proceso de una etapa

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

SOLKANE® 404A

t_c 72,05 °C
 P_c 37,29 bar
 v_c 2,055 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
Temperatura -10,00 °C
Recalentamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar
Capacidad frigorífica 15,0 kW

Condensador
Temperatura 28,00 °C
Subenfriamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Compresor
Rendimiento isotrópico 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración
Recalentamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

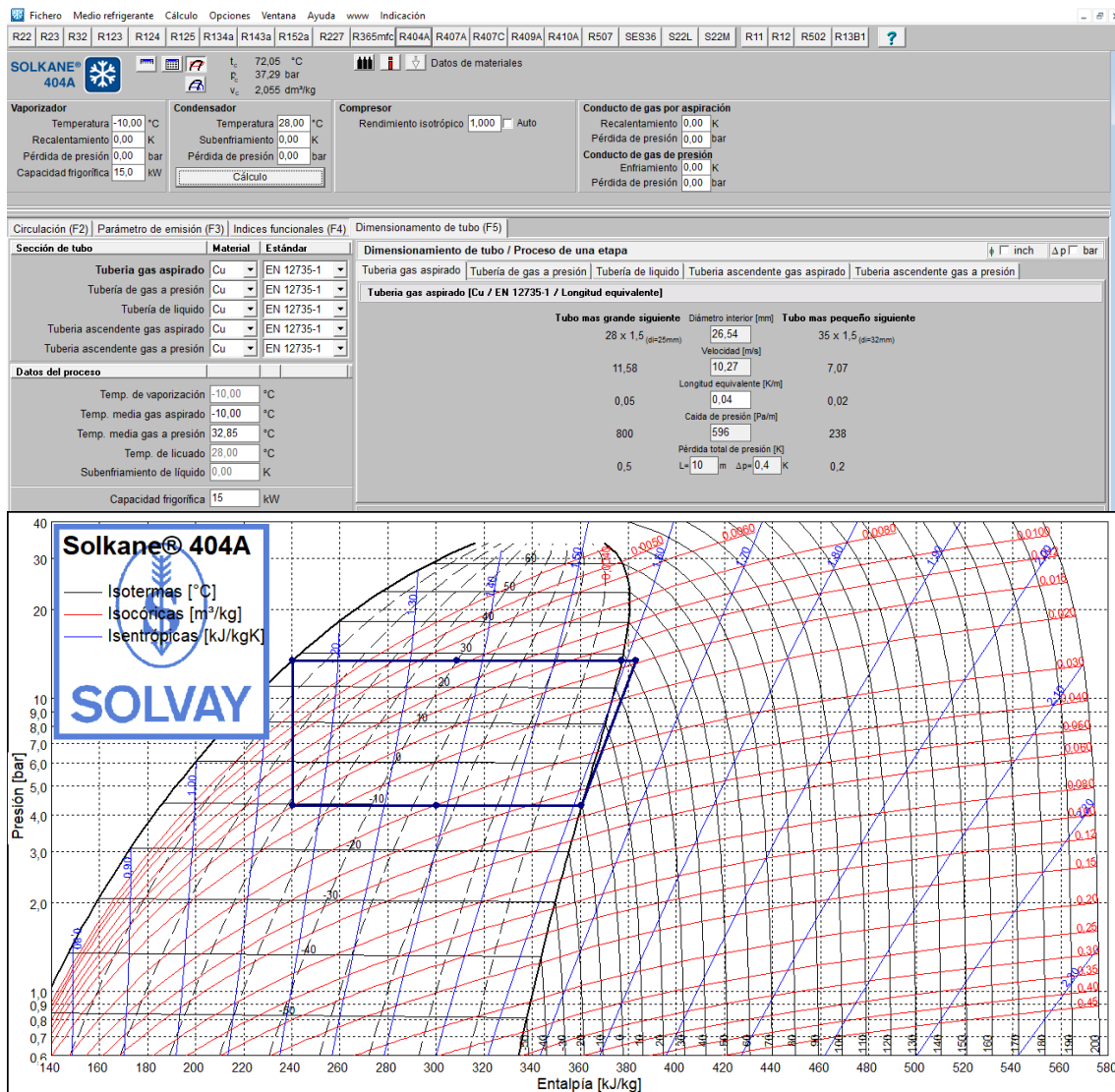
Conducto de gas de presión
Enfriamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Cálculo

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Potencias Proceso de una etapa

Componente	Potencia (kW)	Índice de compresión	Diferencia de presión (bar)	Caudal másico (g/s)	Caudal de volúmen desplazado (m³/h)	Potencia de enfriamiento volúmen (kJ/m³)	Índice de potencia de enfriamiento
Vaporizador	15,0	3,12	9,12	124,48	20,46	2640	5,34
Condensador	17,8						
Compresor	2,81						
Conducto de gas por aspiración	0,000						
Conducto de gas de presión	0,000						



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías:

- $h_1 = 360,69\text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 383,26\text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 240,19\text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 240,19\text{ kJ/kg}$

Caudal másico = $m = 124,48\text{ g/s}$

$W_{\text{compresor}} = 2,81\text{ kW}$

$\text{COP} = 5,34$

6.18.5. Tabla datos SOLKANE R404A

Tabla 16, Fuente propia. Tabla de análisis de los datos del refrigerante R404A

REFRIGERANTE	R404A	R404A	R404A	R404A
LOCAL	Gambuza congelados	Gambuza frescos	AA/CC Central	AA/CC Control de máquinas
Presión min. (Bar)	3,2	6	9,5	4,3
Presión max. (Bar)	24	23	25	14
Diferencia de presión (Bar)	19,72	15,92	15,15	9,12
Índice de compresión	7,10	3,65	2,61	3,12
Volum. Específico a P.min.	0,06	0,032	0,021	0,045
Potencia de enfriamiento volum. (kJ/m3)	1317	2824	4364	2640
Caudal volumen desplazado (m3/h) a P. min.	16,40	7,65	90,73	20,46
Q Condensador (kW)	8,93	7,63	132	17,8
DIÁMETRO INTERIOR (mm) tubería de aspiración	24,27	18,44	48,07	26,54
COP	2,05	3,69	5	5,34
CAUDAL MÁSSICO (g/s)	75,426	64,743	1222,5	124,48
WCOMPRESOR (kW)	2,93	1,63	22	2,81

6.19. SIMULACIÓN CON SOLKANE R409A

6.19.1. Simulación de gambuzas de congelados

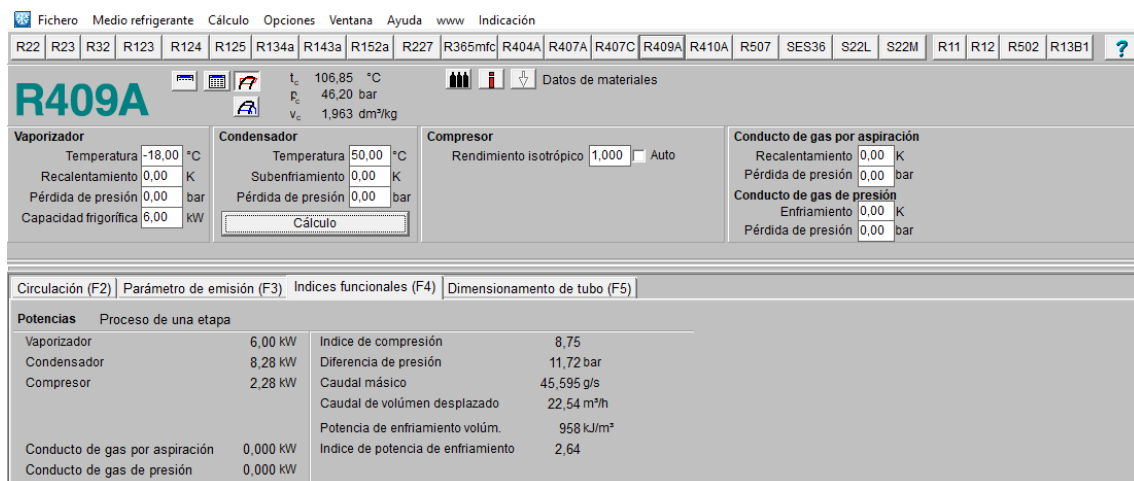
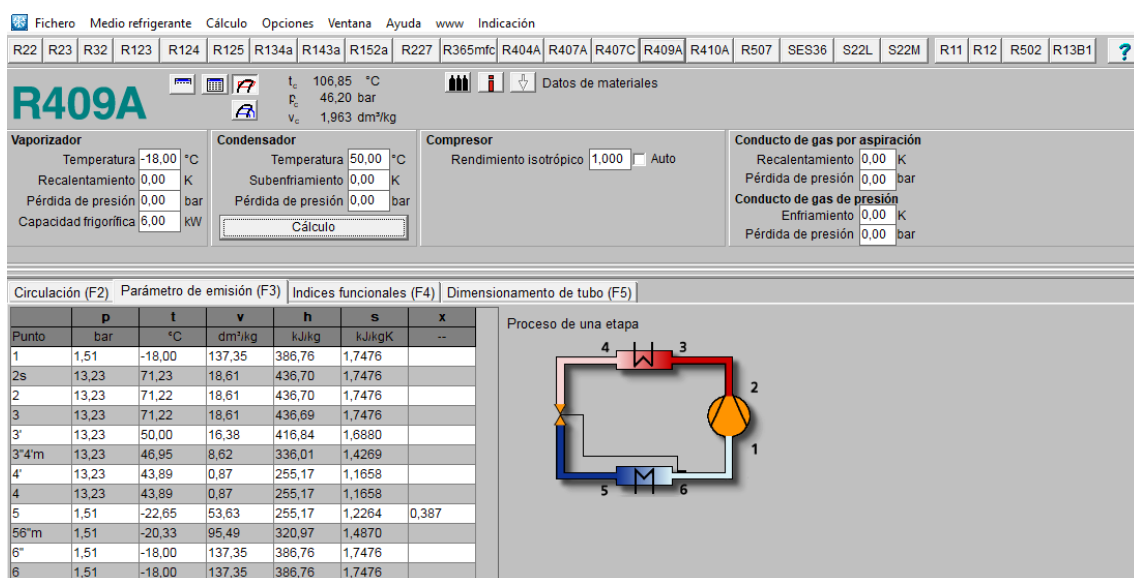
Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de Tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 50^\circ\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = -18^\circ\text{C}$



Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

R409A

t_c 106,85 °C
 P_c 46,20 bar
 v_c 1,963 dm³/kg

Vaporizador
 Temperatura -18,00 °C
 Recalentamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar
 Capacidad frigorífica 6,00 kW

Condensador
 Temperatura 50,00 °C
 Subenfriamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar
 Cálculo

Compresor
 Rendimiento isotrópico 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración
 Recalentamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar
Conducto de gas de presión
 Enfriamiento 0,00 K
 Pérdida de presión 0,00 bar

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

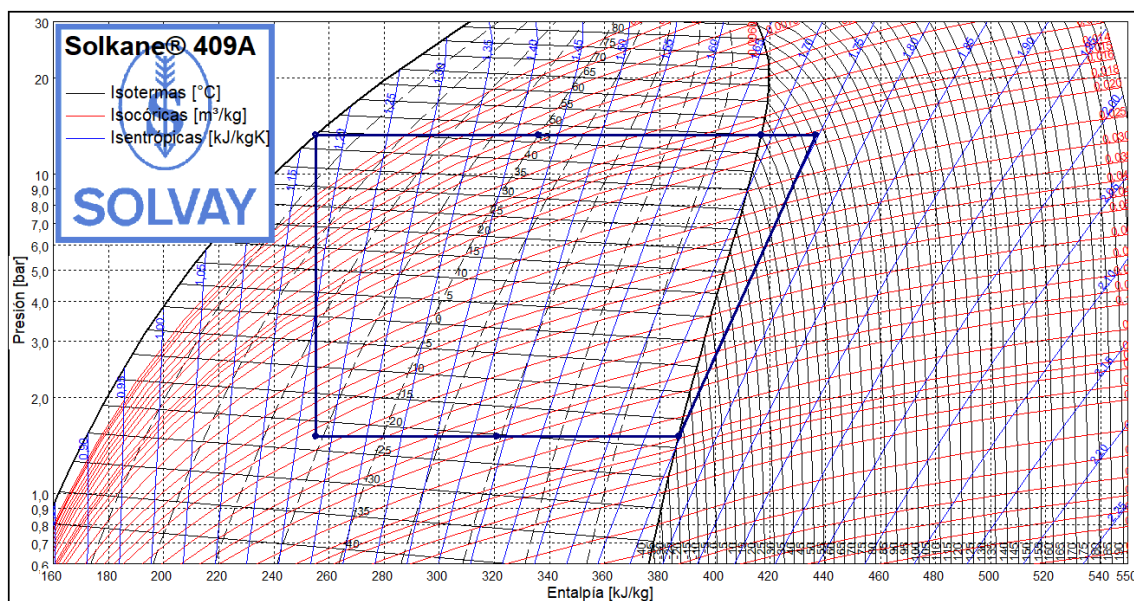
Sección de tubo
 Material Estándar
 Tubería gas aspirado Cu EN 12735-1
 Tubería de gas a presión Cu EN 12735-1
 Tubería de líquido Cu EN 12735-1
 Tubería ascendente gas aspirado Cu EN 12735-1
 Tubería ascendente gas a presión Cu EN 12735-1

Datos del proceso
 Temp. de vaporización -18,00 °C
 Temp. media gas aspirado -18,00 °C
 Temp. media gas a presión 71,22 °C
 Temp. de licuado 50,00 °C
 Subenfriamiento de líquido 0,00 K
 Capacidad frigorífica 6 kW

Dimensionamiento de tubo / Proceso de una etapa
 Tubería gas aspirado Tubería de gas a presión Tubería de líquido Tubería ascendente gas aspirado Tubería ascendente gas a presión

Tubería gas aspirado [Cu / EN 12735-1 / Longitud equivalente]

Tubo mas grande siguiente	Diámetro interior [mm]	Tubo mas pequeño siguiente
28 x 1,5 (dn=25mm)	25,63	35 x 1,5 (dn=32mm)
Velocidad [m/s]	12,14	7,79
Longitud equivalente [Km]	0,04	0,01
Caja de presión [Pa/m]	249	82
Pérdida total de presión [K]	0,5	0,1
L=10 m Δp=0,4 K		



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías:

- $h_1 = 386,76 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 436,70 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 255,17 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 255,17 \text{ kJ/kg}$

Caudal másico = $m = 45,595 \text{ g/s}$

$W_{\text{compresor}} = 2,28 \text{ kW}$

$\text{COP} = 2,64$

6.19.2. Simulación gambuzas frescos

Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de Tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 48^\circ\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = 0^\circ\text{C}$

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

R409A

t_c 106,85 °C
 p_c 46,20 bar
 v_c 1,963 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
Temperatura 0,00 °C
Recalentamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar
Capacidad frigorífica 6,00 kW

Condensador
Temperatura 48,00 °C
Subenfriamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar
Cálculo

Compresor
Rendimiento isotrópico 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración
Recalentamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Conducto de gas de presión
Enfriamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

Punto	p bar	t °C	v dm ³ /kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x --
1	3,00	0,00	71,90	395,99	1,7274	--
2s	12,58	61,26	18,78	428,65	1,7274	--
2	12,58	61,25	18,77	428,65	1,7274	--
3	12,58	61,25	18,77	428,64	1,7274	--
3'	12,58	48,00	17,29	416,28	1,6897	--
3'4m	12,58	44,91	9,08	334,29	1,4238	--
4'	12,58	41,81	0,86	252,30	1,1579	--
4	12,58	41,81	0,86	252,30	1,1579	--
5	3,00	-5,21	21,87	252,30	1,1955	0,297
56'm	3,00	-2,61	46,88	324,14	1,4615	--
6"	3,00	0,00	71,90	395,99	1,7274	--
6	3,00	0,00	71,90	395,99	1,7274	--

Proceso de una etapa

Fichero Medio refrigerante Cálculo Opciones Ventana Ayuda www Indicación

R22 R23 R32 R123 R124 R125 R134a R143a R152a R227 R365mfc R404A R407A R407C R409A R410A R507 SES36 S22L S22M R11 R12 R502 R13B1 ?

R409A

t_c 106,85 °C
 p_c 46,20 bar
 v_c 1,963 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador
Temperatura 0,00 °C
Recalentamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar
Capacidad frigorífica 6,00 kW

Condensador
Temperatura 48,00 °C
Subenfriamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar
Cálculo

Compresor
Rendimiento isotrópico 1,000 Auto

Conducto de gas por aspiración
Recalentamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Conducto de gas de presión
Enfriamiento 0,00 K
Pérdida de presión 0,00 bar

Circulación (F2) Parámetro de emisión (F3) Índices funcionales (F4) Dimensionamiento de tubo (F5)

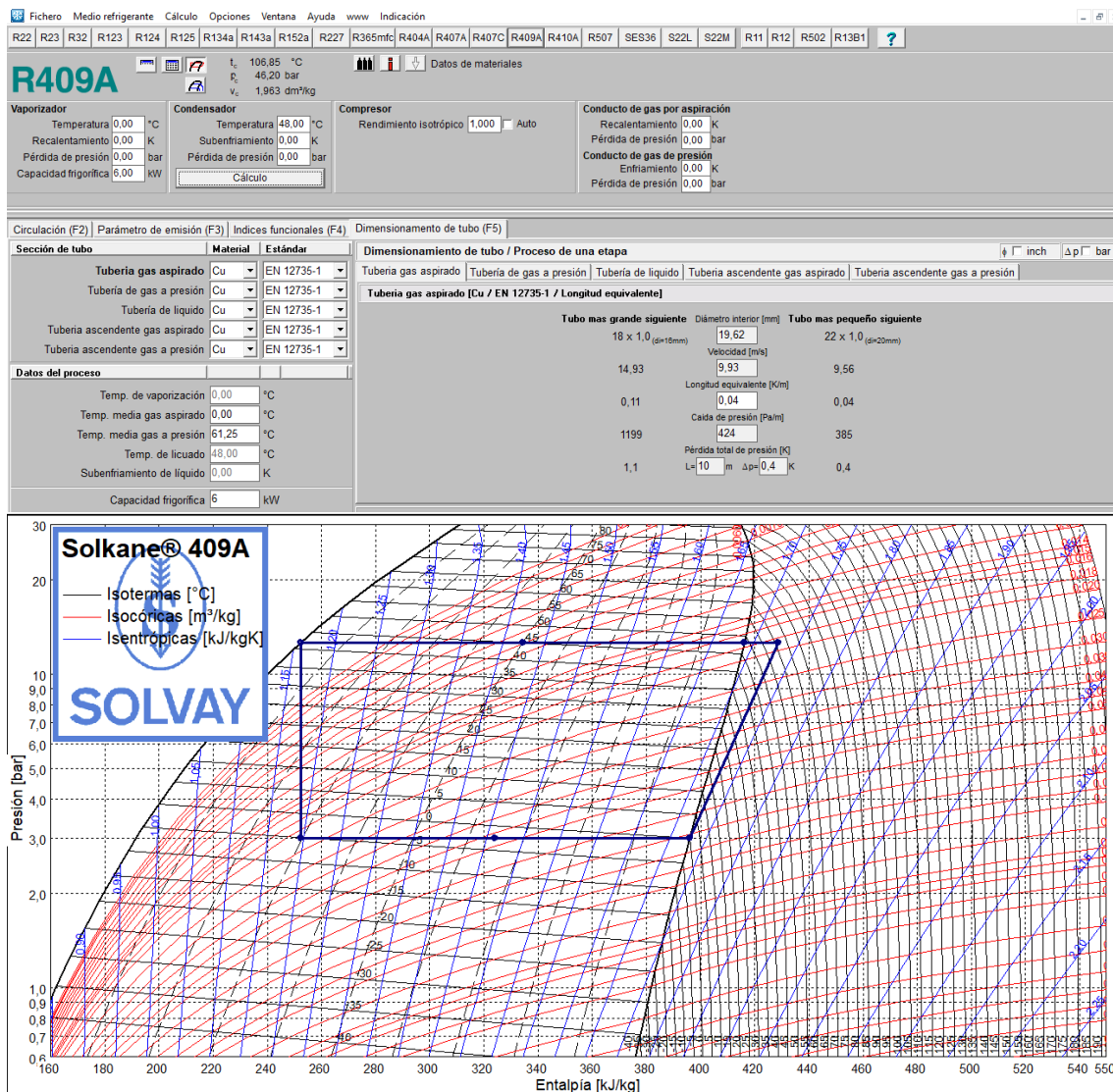
Potencias

Proceso de una etapa	Potencia (kW)
Vaporizador	6,00
Condensador	7,36
Compresor	1,36

Proceso de una etapa

Índice	Valor
Índice de compresión	4,19
Diferencia de presión	9,58 bar
Caudal másico	41,757 g/s
Caudal de volumen desplazado	10,81 m ³ /h
Potencia de enfriamiento volúm.	1999 kJ/m ³
Índice de potencia de enfriamiento	4,40

Conducto de gas por aspiración 0,000 kW
Conducto de gas de presión 0,000 kW



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías:

- $h_1 = 395,99 \text{ kJ/kg}$
- $h_2 = 428,65 \text{ kJ/kg}$
- $h_3 = 252,30 \text{ kJ/kg}$
- $h_4 = 252,30 \text{ kJ/kg}$

Caudal másico = $\dot{m} = 41,757 \text{ g/s}$

W compresor = 1,36 kW

COP = 4,40

6.19.3. Simulación AACC central

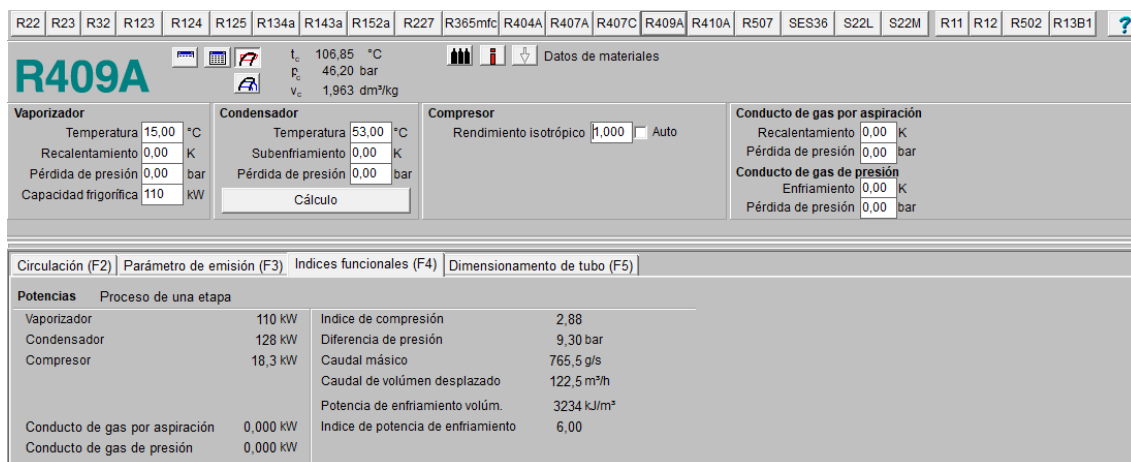
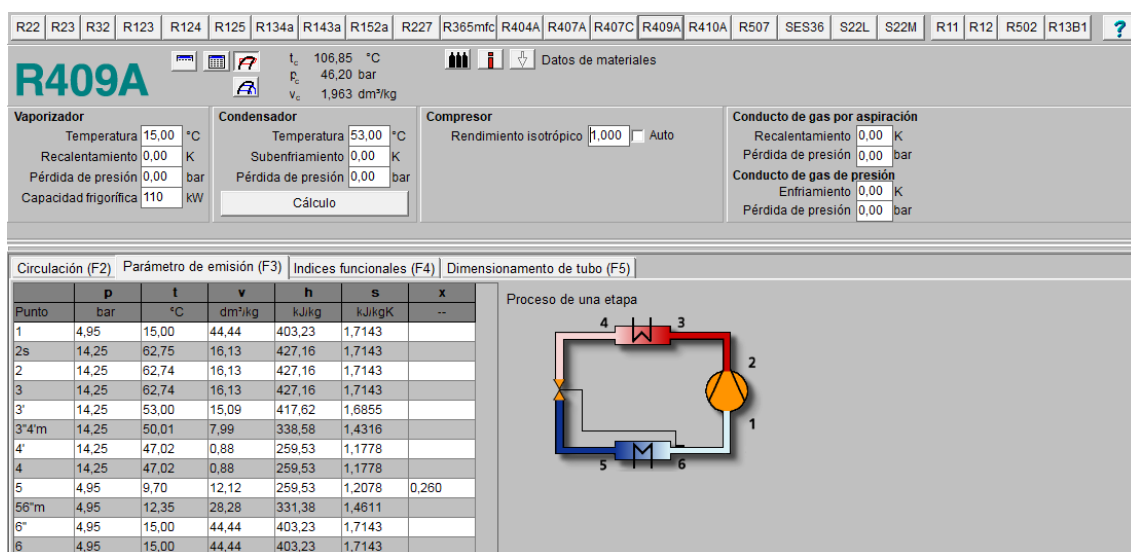
Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de Tijarafe.

Datos:

Temperatura del condensador = $T_k = 53^\circ\text{C}$

Temperatura del evaporador = $T_o = 15^\circ\text{C}$



R22	R23	R32	R123	R124	R125	R134a	R143a	R152a	R227	R365mfc	R404A	R407A	R407C	R409A	R410A	R507	SES36	S22L	S22M	R11	R12	R502	R13B1	?
-----	-----	-----	------	------	------	-------	-------	-------	------	---------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	------	------	-----	-----	------	-------	---

R409A

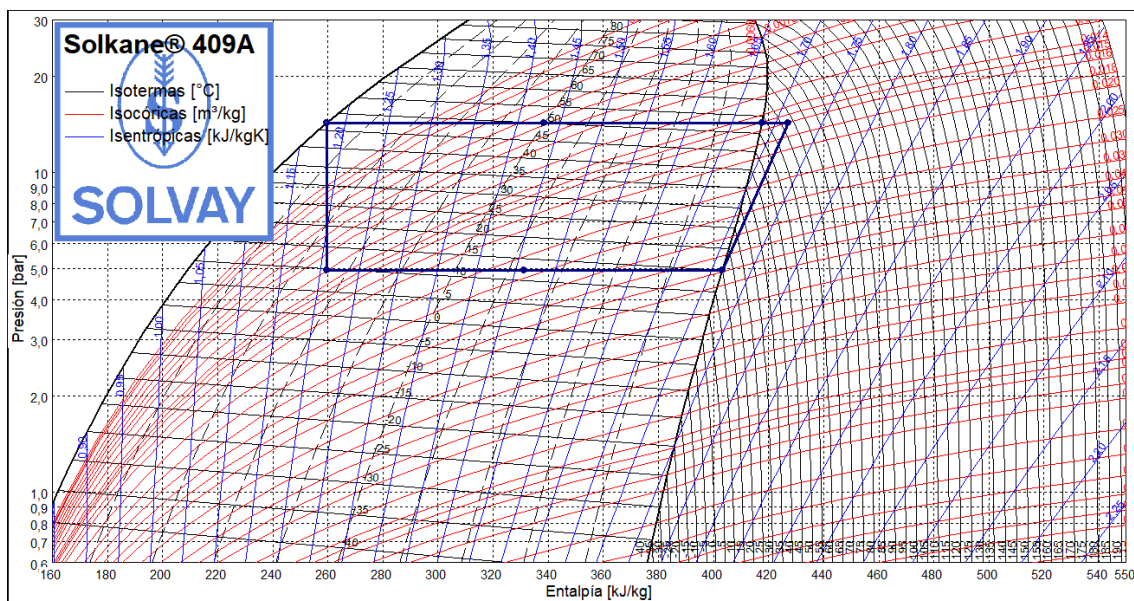
t_c 106,85 °C
 P_c 46,20 bar
 v_c 1,963 dm³/kg

Datos de materiales

Vaporizador Temperatura 15,00 °C Recalentamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Capacidad frigorífica 110 kW	Condensador Temperatura 53,00 °C Subenfriamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Cálculo	Compresor Rendimiento isoentrópico 1,000 Auto	Conducto de gas por aspiración Recalentamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar Conducto de gas de presión Enfriamiento 0,00 K Pérdida de presión 0,00 bar
---	--	---	---

Circulación (F2) | Parámetro de emisión (F3) | Índices funcionales (F4) | Dimensionamiento de tubo (F5)

Sección de tubo Tubería gas aspirado Cu EN 12735-1 Tubería de gas a presión Cu EN 12735-1 Tubería de líquido Cu EN 12735-1 Tubería ascendente gas aspirado Cu EN 12735-1 Tubería ascendente gas a presión Cu EN 12735-1	Datos del proceso Temp. de vaporización 15,00 °C Temp. media gas aspirado 15,00 °C Temp. media gas a presión 62,74 °C Temp. de licuado 53,00 °C Subenfriamiento de líquido 0,00 K Capacidad frigorífica 110 kW	Dimensionamiento de tubo / Proceso de una etapa Tubería gas aspirado Tubería de gas a presión Tubería de líquido Tubería ascendente gas aspirado Tubería ascendente gas a presión Tubería gas aspirado [Cu / EN 12735-1 / Longitud equivalente] <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tubo mas grande siguiente</th> <th>Díámetro interior [mm]</th> <th>Tubo mas pequeño siguiente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>54 x 2,0 (ø=50mm)</td> <td>50,66</td> <td>64 x 2,0 (ø=50mm)</td> </tr> <tr> <td>17,33</td> <td>16,88</td> <td>12,03</td> </tr> <tr> <td>0,04</td> <td>Longitud equivalente [K/m]</td> <td>0,02</td> </tr> <tr> <td>668</td> <td>Caja de presión [Pa/m]</td> <td>263</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>Pérdida total de presión [kPa]</td> <td>0,2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$L=10$ m $\Delta p=0,4$ K</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Tubo mas grande siguiente	Díámetro interior [mm]	Tubo mas pequeño siguiente	54 x 2,0 (ø=50mm)	50,66	64 x 2,0 (ø=50mm)	17,33	16,88	12,03	0,04	Longitud equivalente [K/m]	0,02	668	Caja de presión [Pa/m]	263	0,4	Pérdida total de presión [kPa]	0,2		$L=10$ m $\Delta p=0,4$ K	
Tubo mas grande siguiente	Díámetro interior [mm]	Tubo mas pequeño siguiente																					
54 x 2,0 (ø=50mm)	50,66	64 x 2,0 (ø=50mm)																					
17,33	16,88	12,03																					
0,04	Longitud equivalente [K/m]	0,02																					
668	Caja de presión [Pa/m]	263																					
0,4	Pérdida total de presión [kPa]	0,2																					
	$L=10$ m $\Delta p=0,4$ K																						



Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías:

- $h_1 = 403,23$ kJ/kg
- $h_2 = 427,16$ kJ/kg
- $h_3 = 259,23$ kJ/kg
- $h_4 = 259,53$ kJ/kg

Caudal másico = $m = 765,5$ g/s

W compresor = 18,3 kW

COP = 6

6.19.4. Simulación AACC control de máquinas

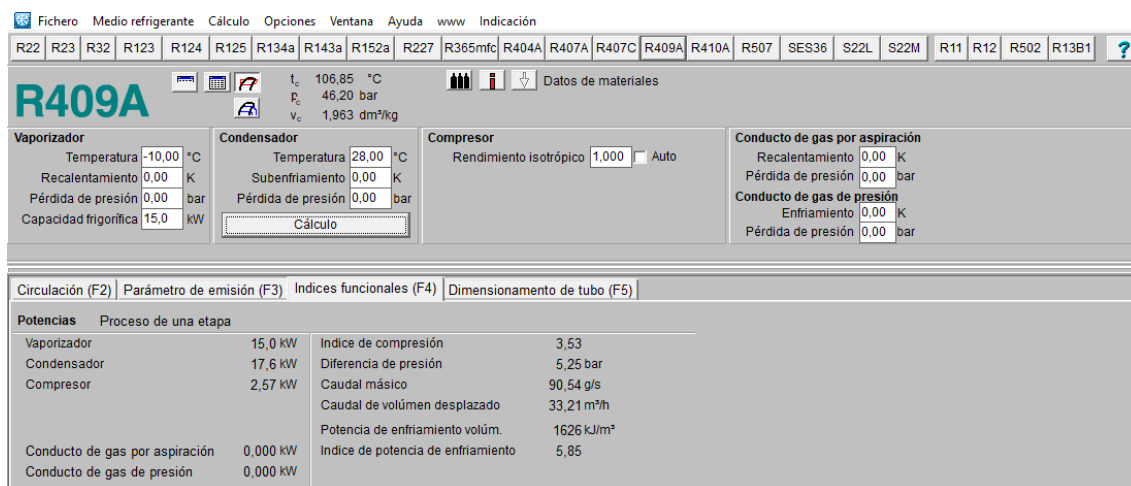
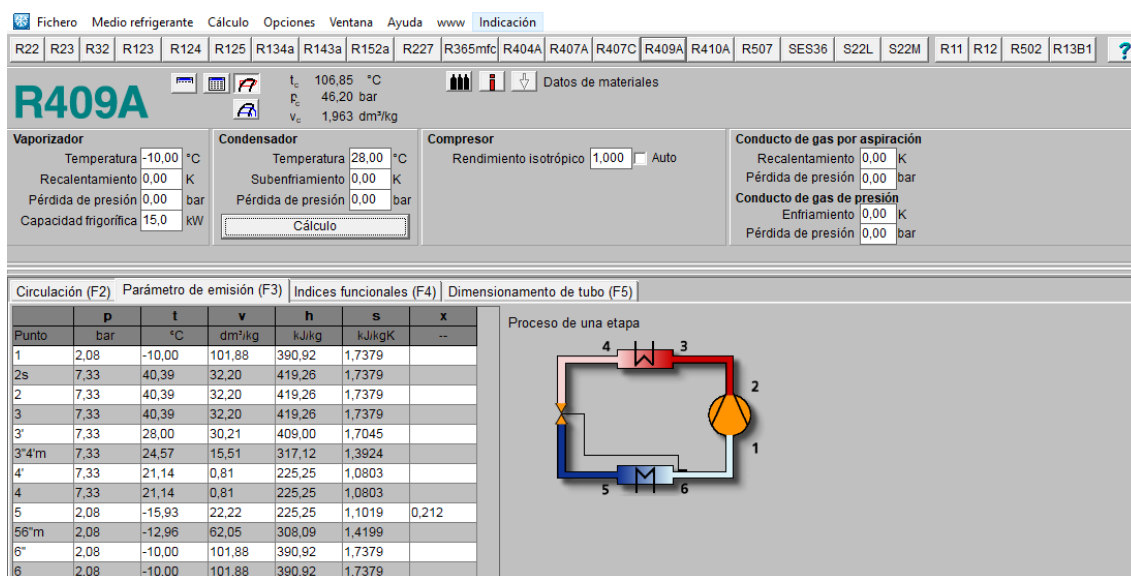
Se suponen en el cálculo que no hay pérdidas en la compresión mecánica.

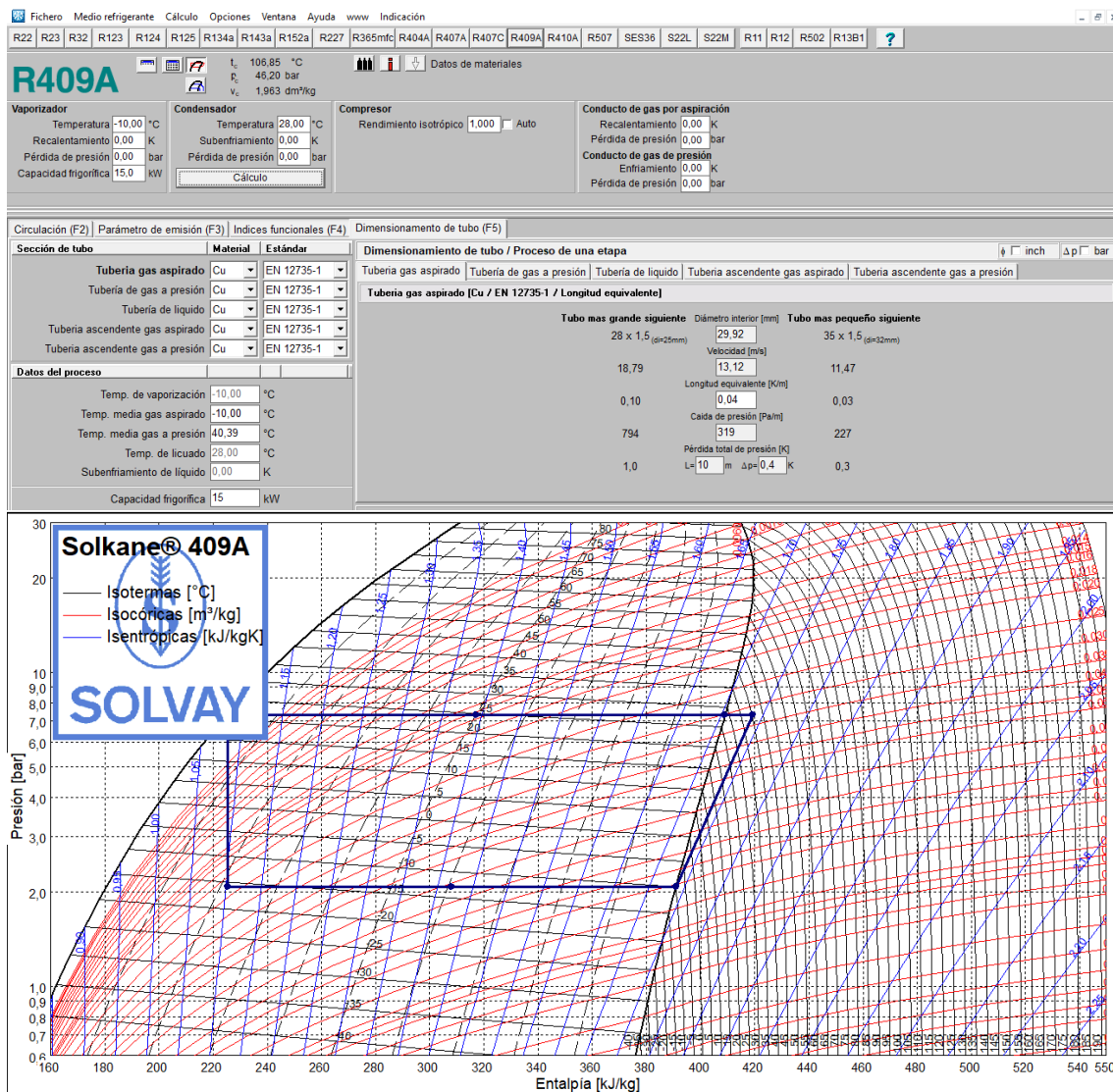
Para la obtención de datos necesarios de presiones y temperaturas se han recogido durante las prácticas de embarque en el buque Volcán de Tijarafe.

Datos:

Presión del evaporador = $P_o = 4,5$ bar

Presión del condensador = $P_k = 14$ bar





Según los datos obtenidos con el programa SOLKANE suponiendo que:

- No hay recalentamientos
- No hay pérdidas de presión
- No hay subenfriamiento
- Y el rendimiento isoentrópico es 1.

Entalpías:

- $h_1 = 390,92$ kJ/kg
- $h_2 = 419,29$ kJ/kg
- $h_3 = 225,25$ kJ/kg
- $h_4 = 225,25$ kJ/kg

Caudal másico = $m = 90,54$ g/s

W compresor = 2,57 kW

COP = 5,85

6.19.5. Tabla datos SOLKANE R409A

Tabla 17, Fuente propia. Tabla de análisis de los datos del refrigerante R409A.

REFRIGERANTE	R409A	R409A	R409A	R409A
LOCAL	Gambuza congelados	Gambuza frescos	AA/CC Central	AA/CC Control de máquinas
Presión min. (Bar)	1,6	3	5	2,2
Presión max. (Bar)	14	13	15	7,5
Diferencia de presión (Bar)	11,72	9,58	9,30	5,25
Índice de compresión	8,75	4,19	2,88	3,53
Volum. Específico a P.min.	0,19	0,082	0,049	0,1
Potencia de enfriamiento volum. (kJ/m ³)	958	1999	3234	1626
Caudal volumen desplazado (m ³ /h) a P.min.	22,54	10,81	122,5	33,21
WCondensador (kW)	8,28	7,36	128	17,6
DIÁMETRO INTERIOR (mm) tubería de aspiración	25,63	25,63	50,66	29,92
COP	2,64	4,40	6	5,85
CAUDAL MÁSSICO (g/s)	45,595	41,757	765,5	90,54
WCOMPRESOR (kW)	2,28	1,36	18,3	2,57

6.20. TABLA COMPARACIÓN DE REFRIGERANTES

COMPARACIÓN DE REFRIGERANTES

Tabla 18, Fuente propia. Tabla de análisis de los datos de la Gambuza de congelados

LOCAL	Gambuza congelados			
REFRIGERANTE	R507A	R134a	R404A	R409A
Presión min. (Bar)	1,6	2,9	4,9	2
Presión max. (Bar)	15	13	16	7,2
Diferencia de presión (Bar)	20,21	11,73	19,72	11,72
Índice de compresión	6,97	9,11	7,10	8,75
Volum. Específico a P.min. (m ³)	0,135	0,070	0,042	0,1
Potencia de enfriamiento volum. (kJ/m ³)	1326	855	1317	958
Caudal volumen desplazado (m ³ /h) a P.min.	16,29	25,25	16,40	22,54
WCondensador (kW)	9,01	8,39	8,93	8,28
DIÁMETRO INTERIOR (mm) tubería de aspiración	24,31	28,49	24,27	25,63
COP	2	2,52	2,05	2,64
CAUDAL MÁSSICO (g/s)	79,795	51,630	75,426	45,595
WCOMPRESOR (kW)	3,01	2,39	2,93	2,28
Precio € 25kg	2655,35	1214,3	2475	1550,4

Tabla 19, Fuente propia. Tabla de análisis de los datos de la Gambuza de frescos

LOCAL	Gambuza frescos			
REFRIGERANTE	R507A	R134a	R404A	R409A
Presión min. (Bar)	1,6	2,9	4,9	2
Presión max. (Bar)	15	13	16	7,2
Diferencia de presión (Bar)	16,30	9,60	15,92	9,58
Índice de compresión	3,61	4,28	3,65	4,19
Volum. Específico a P.min. (m ³)	0,135	0,07	0,042	0,1
Potencia de enfriamiento volum. (kJ/m ³)	2846	1877	2824	1999
Caudal volumen desplazado (m ³ /h) a P.min	7,59	11,51	7,65	10,81
Q Condensador (kW)	7,66	7,40	7,63	7,36
DIÁMETRO INTERIOR (mm) tubería de admisión	18,67	21,3	18,44	25,63
COP	3,61	4,3	3,69	4,4
CAUDAL MÁSSICO (g/s)	68,032	46,141	64,743	41,757
W COMPRESOR (kW)	1,66	1,4	1,63	1,36
Precio € 25kg	2655,35	1214,4	2475,05	1550,4

Tabla 20, Fuente propia. Tabla de análisis de los datos del AA/CC central

LOCAL	AA/CC central			
REFRIGERANTE	R507A	R134a	R404A	R409A
Presión min. (Bar)	9,77	4,9	9,5	5
Presión max. (Bar)	25,3	16	25	15
Diferencia de presión (Bar)	15,49	9,32	15,15	9,30
Índice de compresión	2,59	2,91	2,61	2,88
Volum. Específico a P.min. (m ³)	0,019	0,042	0,021	0,049
Potencia de enfriamiento volum. (kJ/m ³)	4380	3107	4364	3234
Caudal volumen desplazado (m ³ /h) a P.min.	90,42	127,4	90,73	122,5
Q Condensador (kW)	132	129	132	128
DIÁMETRO INTERIOR (mm) tuberías de aspiración	48,24	53,54	48,07	50,66
COP	4,89	5,94	5	6
CAUDAL MÁSSICO (g/s)	1286,4	841,3	1222,5	765,5
W COMPRESOR (kW)	22,5	18,5	22	18,3
Precio € 25kg	2655,35	1214,4	2475,05	1550,4

Tabla 21, Fuente propia. Tabla de análisis de los datos del AA/CC del control de máquinas.

LOCAL	AA/CC control de máquinas			
REFRIGERANTE	R507A	R134a	R404A	R409A
Presión min. (Bar)	1,6	3	5	2,2
Presión max. (Bar)	14	13	15	7,5
Diferencia de presión (Bar)	9,5	5,26	9,12	5,25
Índice de compresión	3,11	3,62	3,12	3,53
Volum. Específico a P.min. (m ³)	0,19	0,082	0,049	0,1
Potencia de enfriamiento volum. (kJ/m ³)	2692	1543	2640	1626
Caudal volumen desplazado (m ³ /h) a P.min.	20,06	34,99	20,46	33,21
Q Condensador (kW)	17,9	17,6	17,8	17,6
DIÁMETRO INTERIOR (mm) tubería de aspiración	26,46	32,26	26,54	29,92
COP	5,25	5,76	5,34	5,85
CAUDAL MÁSSICO (g/s)	129,61	97,64	124,48	90,54
W COMPRESOR (kW)	2,86	2,61	2,81	2,57
Precio € 25kg	2655,35	1214,4	2475,05	1550,4

- DATOS DE ANÁLISIS DE LAS INSTALACIONES:

Presión mínima: Es la presión teórica mínima de la instalación, la correspondiente al evaporador. Interesa que sea superior a la atmosférica.

Presión máxima: Es la presión teórica máxima de la instalación, la correspondiente con el condensador. Interesa que sea pequeña.

Diferencia de presión: Es la diferencia de presiones entre el condensador y el evaporador. Interesa que sea lo menor posible.

Índice de compresión: Cociente entre la presión del condensador y la presión del evaporador. Interesa que sea lo mas pequeño posible.

Volumen específico a Presión min.: Es el volumen de refrigerante que se encuentra en la aspiración del compresor. Interesa que sea lo menor posible.

Potencia de enfriamiento: Es el cociente la potencia frigorífica de la instalación y el volumen específico. Interesa que sea lo mayor posible

Caudal de volumen desplazado: Es el volumen desplazado de refrigerante por unidad de tiempo. Interesa que sea lo menos posible.

Q condensador: Potencia del condensador. Interesa que sea lo menor posible

Diámetro interior: Es el diámetro interior de los tubos de la instalación. Interesa que el diámetro interior sea lo más mínimo posible.

COP: Eficiencia de la instalación frigorífica. Interesa lo mas alto posible

Caudal másico: Cociente entre la potencia frigorífica y la producción frigorífica (diferencia de entalpías en el evaporador). Interesa que sea un valor pequeño.

W compresor: Potencia del compresor. Interesa que sea un valor pequeño.

Los parámetros más interesantes de analizar son básicamente:

- El COP que indica el consumo energético
- La relación de caudal y volumen específico en la aspiración ya que la relación de estos dos datos indica el tamaño de tuberías y del compresor.

6.21. ELECCIÓN DE REFRIGERANTE BASADA EN DATOS IDEALES

Para la elección del refrigerante, se van a utilizar los datos más característicos de la instalación indicados en las tablas del apartado 5.

En cada instalación se va a analizar los datos por separado y se va a escoger para cada instalación el refrigerante que mejores datos ideales haya obtenido.

Para una elección de refrigerante se tendrá también en cuenta el menor coste de cambios en la instalación, ya que se quiere mejorar el rendimiento de la instalación con el menor gasto posible en sustituir elementos, dado que la vida útil realmente del barco es pequeña, y no se justifica la realización de inversiones que tengan periodos de amortización largos.

6.21.1. Gambuza de congelados

La elección del refrigerante en la gambuza de congelados se va a realizar una comparación de datos ideales de las tablas del apartado 5.

- El dato mas característico donde hay que fijarse, es en el COP, el COP que es la eficiencia de la instalación y por lo tanto un mayor COP significa una mejor instalación frigorífica.

El COP más alto es el del R409A (2,64) y el segundo mas alto es el R134a (2,51). Mientras que el COP de los otros dos refrigerantes es un poco menor, el R404A (2,05) y el del R507A (2).

- Otro dato como el caudal másico, en este caso es la cantidad de refrigerante que hay que “mover” en la instalación interesa, que sea un valor pequeño ya que eso quiere decir que con menos cantidad de refrigerante se enfría lo mismo.

R507A (79,795 g/s), R134a (51,630 g/s), R404A (75,426 g/s) y R409A (45,595 g/s)

En este caso el caudal másico mas pequeño para esta instalación es el que da el R409A, el segundo mas pequeño es el R404A y los otros dos refrigerantes, tanto el R134a y el R507A, con valores muy superiores a los otros dos refrigerantes, pero muy parejos entre ellos.

- El caudal volumétrico en la aspiración que al igual que el caudal másico interesa que sea lo menor pasible para que así el compresor sea lo mas pequeño posible.

R507A (20,06 m³/h), R134a (34,99 m³/h), el R404A (20,46 m³/h) y el R409A (33,21 m³/h)

En este apartado el R507A es el refrigerante que menos caudal volumétrico tiene, con una diferencia mínima con el R404A, pero siendo este refrigerante un poco superior y los otros dos refrigerantes, tanto el R134a como el R409A con valores muy superiores a los dos primeros.

- La potencia del condensador

R507A (17,9 kW), R134a (17,6 kW), el R404A (17,8 kW) y el R409A (17,6 kW)

Una diferencia mínima en los cuatro refrigerantes, el condensador de mayor potencia R507A y el inferior R409A.

- La potencia del compresor

R507A (3,01 kW), R134a (2,39 kW), el R404A (2,93 kW) y el R409A (2,28 kW)

En este apartado, interesa un valor lo más pequeño posible para tener un compresor lo más pequeño posible.

El refrigerante de valor más pequeño es el R409A, seguido por el R134a. Mientras que los otros dos refrigerantes tanto el R404A como el R507A tiene un valor muy superior a los dos primeros.

- La potencia de enfriamiento

R507A (1326 kJ/m³), R134a (855 kJ/m³), el R404A (1317 kJ/m³) y el R409A (958 kJ/m³)

La potencia de enfriamiento es un apartado que interesa que sea un valor alto ya que es la capacidad de enfriar por m³. Según los valores El R507A tiene el valor mas alto con una diferencia mínima con el segundo más alto el R404A y los otros dos tanto el R134a y el R409A con valores muy inferiores a los dos primeros.

- Por ultimo, el precio de los refrigerantes.

R507A (2655,35 €), R134a (1214,4 €), el R404A (2475,05 €) y el R409A (1550,4 €)

El refrigerante mas barato es el R134a, el segundo más barato el R409A y tanto el R404A y el R507A de valores muy superiores.

Tabla 22, Fuente propia. Tabla comparativa de refrigerantes de la gambuza de congelados.

Características	Mejor Refrigerante			Peor Refrigerante
COP	R409A	R134a	R404A	R507A
Caudal másico	R409A	R404A	R134a	R507A
Caudal volumétrico	R507A	R404A	R409A	R134a
Potencia de condensador	R409A	R134a	R404A	R507A
Potencia del compresor	R409A	R134a	R404A	R507A
Potencia de enfriamiento	R507A	R404A	R409A	R134a
Precio	R134a	R409A	R404A	R507A

- Conclusiones en la elección para la gambuza de congelados es:
 - 1- Según los datos obtenidos anteriormente, y utilizando la tabla 22 como base de elección. El refrigerante que tiene los mejores resultados es el R409A ya que es más favorable en casi todos los apartados.
 - 2- Otra posible alternativa podría ser el R404A, que también mejoraría las prestaciones del refrigerante actual.
 - 3- Para ambos refrigerantes, tanto el R404A y el R409A, se realizará un presupuesto para cada uno para comparar inversiones.
 - 4- La peor opción según los cálculos es el R507A, actual refrigerante, ya que los cálculos demuestran que no es la mejor opción para esta instalación.

6.21.2. Gambuza de frescos

La elección del refrigerante en la gambuza de frescos se va a realizar una comparación de datos ideales de las tablas del apartado 5.

- El dato mas característico donde hay que fijarse es en el COP, que representa la eficiencia de la instalación y por lo tanto un mayor COP significa una mejor instalación frigorífica.

El COP más alto es el del R409A (4,4) y el segundo mas alto es el R134a (4,3). Mientras que el COP de los otros dos refrigerantes es un poco menor, el R404A (3,69) y el del R507A (3,61).

- Otro dato como el caudal másico, en este caso es la cantidad de refrigerante que hay que mover en la instalación interesa que este valor sea pequeño ya que eso quiere decir que con menos cantidad de refrigerante se enfría lo mismo.

R507A (68,032 g/s), R134a (46,141 g/s), R404A (64,743 g/s) y R409A (41,757 g/s)

En este caso el caudal másico mas pequeño para esta instalación es el que da el R409A, el segundo mas pequeño es el R134a y los otros dos refrigerantes, tanto

el R404A y el R507A, con valores muy superiores a los otros dos refrigerantes, pero muy parejos entre ellos.

- El caudal volumétrico en la aspiración que al igual que el caudal másico interesa que sea lo menor posible para que así el compresor sea lo mas pequeño posible.

R507A (7,59 m³/h), R134a (11,51 m³/h), el R404A (7,65 m³/h) y el R409A (10,81 m³/h)

En este apartado el R507A es el refrigerante que menos caudal volumétrico tiene, con una diferencia mínima con el R404A, pero siendo este refrigerante un poco superior y los otros dos refrigerantes, tanto el R409A como el R134 a con valores muy superiores a los dos primeros.

- La potencia del condensador

R507A (7,66 kW), R134a (7,40 kW), el R404A (7,63 kW) y el R409A (7,36 kW)

Una diferencia mínima en los cuatro refrigerantes, el condensador de mayor potencia R507A y el de menor potencia R409A, y por lo tanto el de menor tamaño.

- La potencia del compresor

R507A (1,66 kW), R134a (1,4 kW), el R404A (1,63 kW) y el R409A (1,36 kW)

En este apartado, interesa un valor lo más pequeño posible para tener un compresor lo más pequeño posible.

El refrigerante de valor más pequeño es el R409A, seguido por el R134a. Mientras que los otros dos refrigerantes tanto el R404A como el R507A tiene un valor muy superior a los dos primeros.

- La potencia de enfriamiento

R507A (2846 kJ/m³), R134a (1877 kJ/m³), el R404A (2824 kJ/m³) y el R409A (1999 kJ/m³)

La potencia de enfriamiento es un apartado que interesa que sea un valor alto ya que es la capacidad de enfriar por m³. Según los valores El R507A tiene el valor mas alto con una diferencia mínima con el segundo más alto el R404A y los otros dos tanto el R134a y el R409A con valores muy inferiores a los dos primeros.

- Por ultimo, el precio de los refrigerantes.

R507A (2655,35 €), R134a (1214,4 €), el R404A (2475,05 €) y el R409A (1550,4 €)

El refrigerante mas barato es el R134a, el segundo más barato el R409A y tanto el R404A y el R507A de valores muy superiores.

Tabla 23, Fuente propia. Tabla comparativa de refrigerantes de la Gambuza de frescos

Características	Mejor Refrigerante			Peor Refrigerante
COP	R409A	R134a	R404A	R507A
Caudal másico	R409A	R404A	R134a	R507A
Caudal volumétrico	R507A	R404A	R409A	R134a
Potencia de condensador	R409A	R134a	R404A	R507A
Potencia del compresor	R409A	R134a	R404A	R507A
Potencia de enfriamiento	R507A	R404A	R409A	R134a
Precio	R134a	R409A	R404A	R507A

- Conclusiones en la elección de refrigerante de la gambuza de frescos es:
 - 1- Según los datos obtenidos anteriormente, y utilizando la tabla 22 como base de elección. El refrigerante que tiene los mejores resultados es el R409A, ya que es el más favorable en casi todos los apartados.
 - 2- Otra posible alternativa podría ser el R404A, que también mejoraría las prestaciones del refrigerante actual.
 - 3- Para ambos refrigerantes, tanto el R404A y el R409A, se realizará un presupuesto para cada uno para comparar inversiones.
 - 4- La peor opción según los cálculos es el R507A, actual refrigerante, ya que los cálculos demuestran que no es la mejor opción para esta instalación.

6.21.3. AA/CC central

La elección del refrigerante en el AA/CC central se va a realizar una comparación de datos ideales de las tablas del apartado 5.

- El dato mas característico donde hay que fijarse es en el COP, que reresenta la eficiencia de la instalación y por lo tanto un mayor COP significa una mejor instalación frigorífica.

El COP más alto es el del R409A (6) y el segundo mas alto es el R134a (5,94). Mientras que el COP de los otros dos refrigerantes es un poco menor, el R404A (5) y el del R507A (4,89).

- Otro dato como el caudal másico, en este caso es la cantidad de refrigerante que hay que mover en la instalación interesa que este valor sea pequeño ya que eso quiere decir que con menos cantidad de refrigerante se enfría lo mismo.

R507A (1286,4 g/s), R134a (841,2 g/s), R404A (1222,5 g/s) y R409A (765,5 g/s)

En este caso el caudal másico mas pequeño para esta instalación es el que da el R409A, el segundo mas pequeño es el R134a y los otros dos refrigerantes, tanto el R404A y el R507A, con valores muy superiores a los otros dos refrigerantes, pero muy parejos entre ellos.

- El caudal volumétrico en la aspiración que al igual que el caudal másico interesa que sea lo menor pasible para que así el compresor sea lo mas pequeño posible.

R507A (90,42 m³/h), R134a (127,4 m³/h), el R404A (90,73 m³/h) y el R409A (122,5 m³/h)

En este apartado el R507A es el refrigerante que menos caudal volumétrico tiene, con una diferencia mínima con el R404A, pero siendo este refrigerante un poco superior y los otros dos refrigerantes, tanto el R409A como el R134a con valores muy superiores a los dos primeros.

- La potencia del condensador

R507A (132 kW), R134a (129 kW), el R404A (132 kW) y el R409A (128 kW)

Una diferencia mínima en los cuatro refrigerantes el condensador de mayor potencia R507A y el de menor potencia el R409A, y por lo tanto el de menor tamaño

- La potencia del compresor

R507A (22,5 kW), R134a (18,5 kW), el R404A (22 kW) y el R409A (18,3 kW)

En este apartado, interesa un valor lo más pequeño posible para tener un compresor lo más pequeño posible.

El refrigerante de valor más pequeño es el R409A, seguido por el R134a. Mientras que los otros dos refrigerantes tanto el R404A como el R507A tiene un valor muy superior a los dos primeros.

- La potencia de enfriamiento

R507A (4380 kJ/m³), R134a (3107 kJ/m³), el R404A (4364 kJ/m³) y el R409A (3234 kJ/m³)

La potencia de enfriamiento es un apartado que interesa que sea un valor alto ya que es la capacidad de enfriar por m³. Según los valores El R507A tiene el valor mas alto con una diferencia mínima con el segundo más alto el R404A y los otros dos tanto el R134a y el R409A con valores muy inferiores a los dos primeros.

- Por ultimo, el precio de los refrigerantes.

R507A (2655,35 €), R134a (1214,4 €), el R404A (2475,05 €) y el R409A (1550,4 €)

El refrigerante mas barato es el R134a, el segundo más barato el R409A y tanto el R404A y el R507A de valores muy superiores.

Tabla 24, Fuente propia. Tabla comparativa de refrigerantes del AA/CC central.

Características	Mejor Refrigerante			Peor Refrigerante
COP	R409A	R134a	R404A	R507A
Caudal másico	R409A	R404A	R134a	R507A
Caudal volumétrico	R507A	R404A	R409A	R134a
Potencia de condensador	R409A	R134a	R404A	R507A
Potencia del compresor	R409A	R134a	R404A	R507A
Potencia de enfriamiento	R507A	R404A	R409A	R134a
Precio	R134a	R409A	R404A	R507A

- Conclusiones en la elección de refrigerante del AA/CC central es:
 - 1- Según los datos obtenidos anteriormente, y utilizando la tabla 22 como base de elección. El refrigerante que tiene los mejores resultados es el R409A, ya que es el más favorable en casi todos los apartados.
 - 2- Otra posible alternativa podría ser el R404A, que también mejoraría las prestaciones del refrigerante actual.
 - 3- Para ambos refrigerantes, tanto el R404A y el R409A, se realizará un presupuesto para cada uno para comparar inversiones.
 - 4- La peor opción según los cálculos es el R507A, actual refrigerante, ya que los cálculos demuestran que no es la mejor opción para esta instalación.

6.21.4. AA/CC control de máquinas

La elección del refrigerante en el AA/CC control de máquinas se va a realizar una comparación de datos ideales de las tablas del apartado 5.

- El dato mas característico donde hay que fijarse es en el COP, que representa la eficiencia de la instalación y por lo tanto un mayor COP significa una mejor instalación frigorífica.

El COP más alto es el del R409A (5,85) y el segundo mas alto es el R134a (5,76). Mientras que el COP de los otros dos refrigerantes es un poco menor, el R404A (5,34) y el del R507A (5,25).

- Otro dato como el caudal másico, en este caso es la cantidad de refrigerante que hay que mover en la instalación interesa que este valor sea pequeño ya que eso quiere decir que con menos cantidad de refrigerante se enfría lo mismo.

R507A (129,61 g/s), R134a (97,64 g/s), R404A (124,48 g/s) y R409A (90,54 g/s)

En este caso el caudal másico mas pequeño para esta instalación es el que da el R409A, el segundo mas pequeño es el R134a y los otros dos refrigerantes, tanto el R404A y el R507A, con valores muy superiores a los otros dos refrigerantes, pero muy parejos entre ellos.

- El caudal volumétrico en la aspiración que al igual que el caudal másico interesa que sea lo menor pasible para que así el compresor sea lo mas pequeño posible.

R507A (20,06 m³/h), R134a (34,99 m³/h), el R404A (20,46 m³/h) y el R409A (33,21 m³/h)

En este apartado el R507A es el refrigerante que menos caudal volumétrico tiene, con una diferencia mínima con el R404A, pero siendo este refrigerante un poco superior y los otros dos refrigerantes, tanto el R409A como el R134a con valores muy superiores a los dos primeros.

- La potencia del condensador

R507A (17,9 kW), R134a (17,6 kW), el R404A (71,8 kW) y el R409A (17,6 kW)

Una diferencia mínima en los cuatro refrigerantes, el condensador de mayor potencia R507A y el de menor potencia R409A, y por lo tanto el de menor tamaño.

- La potencia del compresor

R507A (2,86 kW), R134a (2,61 kW), el R404A (2,81 kW) y el R409A (2,57 kW)

En este apartado, interesa un valor lo más pequeño posible para tener un compresor lo más pequeño posible.

El refrigerante de valor más pequeño es el R409A, seguido por el R134a. Mientras que los otros dos refrigerantes tanto el R404A como el R507A tiene un valor muy superior a los dos primeros.

- La potencia de enfriamiento

R507A (2692 kJ/m³), R134a (1543 kJ/m³), el R404A (2640 kJ/m³) y el R409A (1626 kJ/m³)

La potencia de enfriamiento es un apartado que interesa que sea un valor alto ya que es la capacidad de enfriar por m³. Según los valores El R507A tiene el valor mas alto con una diferencia mínima con el segundo más alto el R404A y los otros dos tanto el R134a y el R409A con valores muy inferiores a los dos primeros.

- Por ultimo, el precio de los refrigerantes.

R507A (2655,35 €), R134a (1214,4 €), el R404A (2475,05 €) y el R409A (1550,4 €)

El refrigerante mas barato es el R134a, el segundo más barato el R409A y tanto el R404A y el R507A de valores muy superiores.

Tabla 25, Fuente propia. Tabla comparativa de refrigerantes del AA/CC del control de máquinas

Características	Mejor Refrigerante			Peor Refrigerante
COP	R409A	R134a	R404A	R507A
Caudal másico	R409A	R404A	R134a	R507A
Caudal volumétrico	R507A	R404A	R409A	R134a
Potencia de condensador	R409A	R134a	R404A	R507A
Potencia del compresor	R409A	R134a	R404A	R507A
Potencia de enfriamiento	R507A	R404A	R409A	R134a
Precio	R134a	R409A	R404A	R507A

- Conclusiones en la elección de refrigerante en el AA/CC Control de máquinas es:
 - 1- Según los datos obtenidos anteriormente, y utilizando la tabla 22 como base de elección. El refrigerante que tiene los mejores resultados es el R409A, ya que es el más favorable en casi todos los apartados.
 - 2- Otra posible alternativa podría ser el R404A, que también mejoraría las prestaciones del refrigerante actual.
 - 3- Para ambos refrigerantes, tanto el R404A y el R409A, se realizará un presupuesto para cada uno para comparar inversiones.
 - 4- La peor opción según los cálculos es el R507A, actual refrigerante, ya que los cálculos demuestran que no es la mejor opción para esta instalación.

6.22. CONDICIONES DE MANTENIMIENTO EN LAS INSTALACIONES Y OPERACIONES DE CARGA Y DESCARGA DE REFRIGERANTE

El mantenimiento de las instalaciones es un apartado muy a tener en cuenta y de vital importancia para la durabilidad de los equipos. Las operaciones, tanto de mantenimiento como de carga y de descarga de refrigerante se llevarán a cabo por personal cualificado y siguiendo los pasos uno a uno.

6.23. OPREACIONES DE MANTENIMIENTO GAMBUZAS

Las operaciones y/o trabajos de mantenimiento a analizar son en los elementos principales de la instalación.

6.23.1. Compresor

Para evitar averías y asegurar un funcionamiento estable, se el compresor es protegido contra posibles regímenes anormales que lo deteriorarían con seguridad en algunos casos y en otros acortarían su vida de trabajo en condiciones normales.

El control de aceite y de temperatura se llevará a cabo una vez a la semana verificando que los niveles y las temperaturas están en dentro de los rangos admisibles de trabajo.

6.23.2. Condensador

Este componente sólo puede presentar un problema de fácil solución, como es la purga de incondensables.

Difícilmente por trabajar la instalación bajo presión pueden entrar incondensables en el circuito. Pero durante las reparaciones esto puede suceder.

Los gases incondensables, normalmente aire, provocan un aumento en la presión de descarga y bajan el rendimiento del sistema. Cuando la cantidad es importante incluso hacen imposible su funcionamiento porque el compresor para por alta presión de descarga.

Si se cree que la instalación contiene incondensables, antes de proceder a su extracción, se debe comprobar que la alta presión no es debida a otra causa. Para ello operar como se indica a continuación:

- 1- Parar el equipo.
- 2- Dejar en funcionamiento la bomba de agua de condensación.
- 3- Después de un tiempo de circulación a través del condensador, comparar la presión de alta con el equivalente a la temperatura del aire de condensación. Si la diferencia es más de 3 °C., hay incondensables; de lo contrario la alta presión es debida a otra causa.

Motivos por los que puede existir presión alta excesiva:

- Condensador sucio.
- Bombas de agua de condensación dañadas.

6.23.2.1. Limpieza del condensador

Cuando el rendimiento del condensador sea bajo (esto se comprueba por la falta de intercambio entre el refrigerante y el agua y por la subida de la presión de descarga), es necesario limpiarlo.

El procedimiento es:

- 1- Poner en circulación el condensador de reserva.
- 2- Incomunicar el condensador que se desea limpiar del circuito de agua por medio de las válvulas de cierre.
- 3- Desmontar las tapas de ambos extremos.
- 4- Pasar cepillo metálico de 16 mm. de diámetro a cada tubo.
- 5- Lavar con agua.
- 6- Montar tapas y tubería.
- 7- Abrir válvulas.

- 8- Poner en marcha, si se desea, abriendo las válvulas del circuito frigorífico y de agua.
- 9- Procurar, cuando se hagan estas operaciones, evitar chorros de agua sobre el cableado eléctrico, porque corremos el riesgo de averías no deseadas.

6.23.3. Evaporadores

La alimentación de refrigerante se realiza a través de válvulas de expansión termostática dotadas de equilibrio externo de presión.

El control de la presión de evaporación se realiza únicamente en las gambuzas de mantenimiento de productos frescos, y para ello se instaló una válvula de presión constante en la línea de aspiración de dichos frigorígenos.

Una baja presión de evaporación da una temperatura de salida de aire demasiado baja, que puede incluso congelar los alimentos más cercanos a los ventiladores, es muy importante controlar esta presión para evitar deterioros en la mercancía.

6.23.3.1. *Desencarche de los evaporadores*

El tipo de desencarche es por medio de resistencias eléctricas, controladas por reloj especial para realizar la operación.

El número y duración de los desencarches es difícil de determinar, dependiendo el tipo de mercancía a almacenar, los embalajes, aperturas de puertas y grado de estanqueidad de estas, etc.

Puede suceder que se aumenta demasiado el tiempo de desencarche y la distancia entre los mismos es demasiado larga, no limpia muy bien la batería evaporadora dejando una capa de hielo en la entrada de aire, de forma vertical, sin tocar el bloque evaporador y otra a la salida del aire.

Este hielo difícilmente se puede fundir por mucho que se aumente el desencarche en tiempo. En estos casos es necesario aumentar el número de desencarches, así evitamos que se forme la capa de hielo por acumulación entre desencarches sucesivos.

Es muy importante controlar el estado de las resistencias que van alojadas en el tubo de desagüe del evaporador de la gambuza de congelados al exterior. Debe funcionar continuamente para evitar que este tubo se obture con el hielo.



Imagen 8. Fuente propia. Realizando mantenimiento por mal funcionamiento de desescarche.

6.23.4. Carga de refrigerante

La carga de refrigerante se efectuará siguiendo las pautas que vienen enunciadas a continuación.

6.23.4.1. Carga de refrigerante en fase gaseosa

Para realizar la carga de refrigerante cuando este se encuentra en fase gaseosa es necesario seguir los siguientes pasos:

- 1- Conectar el latiguillo de carga a la botella de refrigerante por la zona de gas.
- 2- Conectar a la válvula de carga del circuito frigorífico y dejar un poco flojo.
- 3- Abrir la válvula de la botella muy poco hasta que salga gas por el extremo del latiguillo.
- 4- Apretar el latiguillo.
- 5- Abrir la válvula de carga.
- 6- Abrir la válvula de la botella. El gas pasará al circuito frigorífico.
- 7- Una vez terminada la operación de carga, cerrar la válvula de la botella, cerrar la válvula de carga y retirar el latiguillo con precaución, ya que está sometido a presión.

6.23.4.2. Carga de refrigerante en fase líquida

Para realizar la carga de refrigerante cuando este se encuentra en fase líquida es necesario seguir los siguientes pasos:

- 1- Conectar una manguera flexible en la válvula de carga de líquido de la botella, o tumbar ésta si no tiene sonda.

- 2- Conectar el otro extremo de la manguera en la válvula de carga de la instalación sin apretar demasiado.
- 3- "Despegar" la válvula de la botella y esperar hasta que salga líquido refrigerante por el extremo de la manguera en la válvula de carga, entonces apretar firme ésta y abrir la válvula de carga de la instalación.
- 4- Ir cerrando la válvula de salida de líquido refrigerante del recipiente hasta su totalidad si la presión de aspiración del compresor no desciende por debajo de la de trabajo.
- 5- Cuando termine la carga, cerrar la válvula de la botella.
- 6- Cerrar la válvula de carga.
- 7- Abrir totalmente la válvula de la salida de líquido del recipiente, quedando así la instalación en su funcionamiento normal.

6.23.5. Carga de aceite

Normalmente, salvo fuga, los compresores no pierden el aceite. Sucede que la misma cantidad que arrastra el refrigerante a través de la descarga del compresor, retorna, bien desde el separador de aceite o por la aspiración, acompañando nuevamente al refrigerante.

Para añadir aceite a un compresor, debemos actuar como sigue:

- 1- Cerrar válvulas de aspiración y esperar a que pare el compresor por baja presión. Poner interruptor a "O".
- 2- Cerrar válvula de retorno de aceite desde el separador de aceite al cárter del compresor.
- 3- Vaciar la presión del compresor, poco a poco, por el tapón de la válvula de aspiración.
- 4- Abrir el tapón de llenado cuando la presión en el manómetro de aspiración está a 0 kg/cm².
- 5- Añadir aceite incongelable, con la ayuda de un embudo, hasta 2/3 de la mirilla.
- 6- Colocar nuevamente el tapón de llenado, cerciorándose que la junta está en buenas condiciones, de lo contrario es necesario sustituirla.
- 7- Conectar una bomba de vacío al tapón de aspiración antes de parar la bomba de vacío. Desacoplar la bomba, abrir las válvulas cerradas anteriormente y arrancar el compresor.

- 8- Abriendo la aspiración del compresor con lo que entrará gas procedente de los evaporadores, y dejar salir poco a poco los incondensables por la toma exterior que hay en la válvula de descarga.

6.24. OPERACIONES DE MANTENIMIENTO AA/CC CENTRAL

Las operaciones y/o trabajos de mantenimiento que se van a analizar son las que se tienen que realizar en los elementos principales de la instalación.

6.24.1. Unidad compresora

Este apartado incluye los siguientes elementos:

1. Compresor
2. Motor eléctrico
3. Separador de aceite
4. Control electrónico
5. Elementos de control

El control de aceite y de temperatura se llevará a cabo una vez a la semana verificando que los niveles y las temperaturas están en dentro de los rangos admisibles de trabajo.

6.24.2. Condensador

El condensador es el elemento de instalación que más frecuentemente puede causar problemas, pero estos problemas son de fácil solución. Uno de los problemas más frecuentes es la suciedad acumulada en los tubos de agua y el otro la purga de los incondensables.

Difícilmente, por trabajar la instalación bajo presión incluso en la parte más baja, pueden entrar incondensables en el circuito; pero durante las reparaciones esto puede suceder.

Los gases incondensables, normalmente aire, provocan un aumento de la presión de la descarga Y bajar el rendimiento del sistema. Cuando la cantidad es importante incluso hacen imposible su funcionamiento porque el compresor para por alta presión de descarga.

Si se cree que la instalación tiene incondensables, antes de proceder a su extracción, se tiene que comprobar que la alta presión de descarga no es debida a otra causa. Para ello se realizarán los siguientes pasos:

1. Parar el equipo
2. Deja que la temperatura del condensador se iguale con la del ambiente
3. Si la diferencia superior a la temperatura ambiente de más de 3 °C, hay incondensables, de lo contrario la alta presión es debida a otra causa

Otros motivos por los que puede existir presión de alta excesiva son:

1. Condensador sucio
2. Bomba de agua deteriorada
3. Válvulas del circuito de agua de condensación demasiado cerradas

6.24.2.1. Limpieza del condensador

Cuando el rendimiento del condensador se bajo, (el rendimiento se comprueba por la falta de intercambio refrigerante del agua Y por la subida de presión de descarga), es necesario limpiarlo.

Procedimiento procedimiento es el siguiente:

1. Incomunicar el condensador que se desea limpiar el circuito de agua por medio de válvulas de cierre
2. Desmontar las tapas de ambos extremos, asegurarse de tener las juntas de repuesto para las tapas
3. Pasar cepillo metálico adecuado diámetro del tubo
4. Lavar con agua
5. Montar la tapas y tubería
6. Arriba válvulas
7. Poner en marcha, si se desea, abriendo las válvulas del circuito frigorífico y agua
8. Procurar, cuando se realicen estas operaciones, evitar chorros de agua sobre los dispositivos eléctricos, ya que se corre el riesgo de averías no desaseadas.



Imagen 9, 10 y 11. Fuente propia. Limpieza del condensador.

6.24.3. Enfriador de agua dulce

Este componente en esencia es un intercambiador de calor y su funcionamiento es similar a cualquier evaporador.

No necesita ningún mantenimiento especial el único cuidado que se debe observar es que nunca llega congelarse, ya que esto puede producir una rotura o deterioro.

6.24.3.1. Limpieza del enfriador

Cuando el rendimiento del enfriador sea bajo, comprobándolo por la falta de intercambio entre el refrigerante y el agua, es necesario limpiarlo.

El procedimiento es el siguiente:

1. Incomunicada el enfriador del circuito de agua por medio de las válvulas de cierre
2. Desmontar las tapas de ambos extremos, sustituyéndolas por unas juntas nuevas de repuesto
3. Pasa cepillo metálico por cada tubo
4. Lavar con agua
5. Montar tapas y tubería
6. Abrir válvulas
7. Poner en marcha, si se desea, abriendo las válvulas del circuito frigorífico y de agua
8. Procurar, cuando se hagan estas operaciones, evitar chorro de agua sobre el cableado eléctrico, ya que se corre el riesgo de averías no deseadas.

6.24.4. Carga de refrigerante

La carga de refrigerante se efectuará siguiendo las pautas que vienen enunciadas a continuación.

6.24.4.1. Carga de refrigerante en fase gaseosa

Para realizar la carga de refrigerante cuando este se encuentra en fase gaseosa es necesario seguir los siguientes pasos:

- 1- Conectar el latiguillo de carga a la botella de refrigerante por la zona de gas.
- 2- Conectar a la válvula de carga del circuito frigorífico y dejar un poco flojo.
- 3- Abrir la válvula de la botella muy poco hasta que salga gas por el extremo del latiguillo.
- 4- Apretar el latiguillo.
- 5- Abrir la válvula de carga.

- 6- Abrir la válvula de la botella. El gas pasará al circuito frigorífico.
- 7- Una vez terminada la operación de carga, cerrar la válvula de la botella, cerrar la válvula de carga y retirar el latiguillo con precaución, ya que está sometido a presión.

6.24.4.2. Carga de refrigerante en fase líquida

Para realizar la carga de refrigerante cuando este se encuentra en fase líquida es necesario seguir los siguientes pasos:

- 1- Conectar una manguera flexible en la válvula de carga de líquido de la botella, o tumbar ésta si no tiene sonda.
- 2- Conectar el otro extremo de la manguera en la válvula de carga de la instalación sin apretar demasiado.
- 3- "Despegar" la válvula de la botella y esperar hasta que salga líquido refrigerante por el extremo de la manguera en la válvula de carga, entonces apretar firme ésta y abrir la válvula de carga de la instalación.
- 4- Ir cerrando la válvula de salida de líquido refrigerante del recipiente hasta su totalidad si la presión de aspiración del compresor no desciende por debajo de la de trabajo.
- 5- Cuando termine la carga, cerrar la válvula de la botella.
- 6- Cerrar la válvula de carga.
- 7- Abrir totalmente la válvula de la salida de líquido del recipiente, quedando así la instalación en su funcionamiento normal.

6.24.5. Carga de aceite

Normalmente, salvo fuga, los compresores no pierden el aceite. Sucede que la misma cantidad que arrastra el refrigerante a través de la descarga del compresor, retorna, bien desde el separador de aceite o por la aspiración, acompañando nuevamente al refrigerante.

Para añadir aceite a un compresor, debemos actuar como sigue:

- 1- Cerrar válvulas de aspiración y esperar a que pare el compresor por baja presión. Poner interruptor a "O".
- 2- Cerrar válvula de retorno de aceite desde el separador de aceite al cárter del compresor.

- 3- Vaciar la presión del compresor, poco a poco, por el tapón de la válvula de aspiración.
- 4- Abrir el tapón de llenado cuando la presión en el manómetro de aspiración está a 0 kg/cm².
- 5- Añadir aceite incongelable, con la ayuda de un embudo, hasta 2/3 de la mirilla.
- 6- Colocar nuevamente el tapón de llenado, cerciorándose que la junta está en buenas condiciones, de lo contrario es necesario sustituirla.
- 7- Conectar una bomba de vacío al tapón de aspiración antes de parar la bomba de vacío. Desacoplar la bomba, abrir las válvulas cerradas anteriormente y arrancar el compresor.
- 8- Abriendo la aspiración del compresor con lo que entrará gas procedente de los evaporadores, y dejar salir poco a poco los incondensables por la toma exterior que hay en la válvula de descarga.

6.25. OPERACIONES DE MANTENIMIENTO AA/CC CONTROL DE MÁQUINAS

Las operaciones y/o trabajos de mantenimiento que se van a analizar son las que se tienen que realizar en los elementos principales de la instalación.

6.25.1. Compresor

Para evitar averías y asegurar un funcionamiento estable, se ha protegido al compresor contra posibles regímenes anormales que lo deteriorarían con seguridad en algunos casos y en otros acortarían su vida de trabajo en condiciones normales.

El control de aceite y de temperatura se llevará a cabo una vez a la semana verificando que los niveles y las temperaturas están en dentro de los rangos admisibles de trabajo.

6.25.2. Condensador

Solo puede dos problemas bastante localizados y de fácil arreglo. Uno es la suciedad acumulada en la batería y otro es la purga de incondensados.

Difícilmente, por trabajar la instalación bajo presión incluso en su parte baja, pueden entrar incondensados en el circuito, pero durante las reparaciones suele pasar.

Los gases incondensables, normalmente aire, provocan un aumento en la presión de descarga y bajan el rendimiento del sistema. Cuando la cantidad es importante incluso hacen imposible su funcionamiento porque para el compresor por alta presión de descarga.

Si se cree que la instalación contiene incondensables, antes de proceder a su extracción, comprobar que la alta presión no es debida a otra causa. Para ello operar de la siguiente manera:

- Parar el equipo
- Dejar que la temperatura del condensador y/o recipiente se iguale con la del ambiente.
- Si la diferencia es de mas de 3°C con la temperatura ambiente, hay incondensables, de lo contrario la alta presión es debida a otra causa.

Motivos por los que puede existir presión de alta excesiva:

- Condensador sucio
- Bomba de agua de condensación parada
- Válvulas de los circuitos sin abrir totalmente

6.25.2.1. Limpieza del condensador

Cuando el rendimiento del condensador sea bajo, (esto se comprueba por la falta de incremento entre refrigerante y agua y por la subida de la presión de descarga), es necesario limpiarlo.

El procedimiento es el siguiente:

- Incomunicar el condensador del circuito de agua por medio de las válvulas de cierre.
- Desmontar las tapas de ambos extremos
- Pasar cepillo metálico de diámetro adecuado a cada uno.
- Lavar con agua
- Montar tapas y tubería
- Abrir válvulas
- Poner en marcha, si se desea, abriendo las válvulas del circuito frigorífico y de agua
- Procurar, cuando se hagan estas operaciones, evitar chorros de agua sobre el las conexiones eléctricas, ya que se corre el riesgo de averías eléctricas.

6.25.3. Evaporadores

Los evaporadores son de tipo tubo y aleta circulando el aire a través de la batería forzando por los ventiladores.

La alimentación de refrigerante se realiza a través de la válvula de expansión termostática dotada de equilibrio externo de precisión.

6.25.4. Carga de refrigerante

La carga de refrigerante se efectuará siguiendo las pautas que vienen enunciadas a continuación.

6.25.4.1. Carga de refrigerante en fase gaseosa

Para realizar la carga de refrigerante cuando este se encuentra en fase gaseosa es necesario seguir los siguientes pasos:

- Conectar el latiguillo de carga a la botella de refrigerante por la zona de gas
- Conectar a la válvula de la botella muy poco hasta que salga gas por el extremo del latiguillo.
- Apretar el latiguillo
- Abrir la válvula de carga
- Abrir la válvula de la botella. El gas pasará al circuito frigorífico.
- Una vez terminada la operación de carga, cerrar la válvula de carga y retirar el latiguillo con precaución, ya que está sometido a presión.

6.25.4.2. Carga de refrigerante en fase líquida

Para realizar la carga de refrigerante cuando este se encuentra en fase líquida es necesario seguir los siguientes pasos:

- Conectar una manguera flexible en la válvula de carga de líquido de la botella, o tumbar esta si no tiene sonda.
- Conectar el otro extremo de la manguera en la válvula de carga de la instalación sin apretar en exceso
- Despegar la válvula de la botella y esperar hasta que salga líquido refrigerante por el extremo de la manguera en la válvula de carga, entonces apretar firme hasta abrir la válvula de carga de la instalación
- Ir cerrando la válvula de salida de líquido refrigerante del recipiente hasta su totalidad.
- Cuando termine la carga, cerrar la válvula de la botella
- Cerrar la válvula de carga
- Abrir totalmente la válvula de salida de líquido del recipiente, quedando así la instalación en su funcionamiento normal.

6.25.5. Carga de aceite

Normalmente, salvo fuga, los componentes no pierden el aceite. Sucede que la misma cantidad que arrastra a través de la descarga del compresor, retorna, por la aspiración, acompañando nuevamente al refrigerante.

Para añadir aceite a un compresor, se debe actuar de la siguiente manera:

- Cerrar válvulas de aspiración y esperar a que pare el compresor por baja presión. Poner interruptor “0”.
- Incomunicar el compresor
- Vaciar la presión del compresor, poco a poco, por el tapón de la válvula de aspiración.
- Abrir el tapón de llenado cuando la presión en el manómetro de aspiración este a 0 kg/cm².
- Añadir aceite in congelable, con la ayuda de un embudo, hasta 2/3 de la mirilla.
- Colocar nuevamente el tapón de llenado, cerciorándose que la junta está en buenas condiciones, de lo contrario es necesario sustituirla.

6.26. PRESUPUESTO

Para el cálculo del presupuesto se tendrá en cuenta los elementos esenciales para el funcionamiento de la instalación, la mano de obra, los gastos generales, el beneficio industrial, los gastos de licencias y trámites, los honorarios del proyectista y el IVA.

El presupuesto que se ha calculado son dos casos diferentes. Un primer caso donde se analizará un presupuesto con el cambio de la instalación a un R404A y un segundo caso de presupuesto para un cambio de refrigerante a R409A.

6.26.1. Presupuesto caso 1.

En este primer caso de presupuesto se va a analizar el presupuesto que supondrá el cambio de refrigerante en la instalación a un R404A, ya que no es necesario realizar la sustitución de ningún componente.

Adicionalmente se analizará un segundo presupuesto para este caso (1b), que tendrá en cuenta la sustitución de los componentes esenciales de la instalación (compresor, evaporador, condensador y válvulas), que sería necesario realizar en el caso de que se observara que alguno de los estos componentes (o todos) estuvieran averiados y necesitaran sustitución.

Tabla 26, Fuente propia. Coste de los componentes principales de las Gambuzas frigoríficas

Elementos	Marca	Modelo	Unidades en planta	Precio unidad€	Precio total €
Compresor	BITZER	IV Tipo Alternativo abierto	3	2.100	6.300
Condensador	INTEGASA	CFB-11-10-2/6	2	1.700	3.400
Evaporador gambuza de congelados pasaje	FRIMETAL	MVG-80	1	850	850
Termostática gambuza de congelados pasaje	DANFOSS	TES-2	1	66	66
Evaporador gambuza congelados tripulación	FRIMETAL	MVP-64	1	650	650
Termostática gambuza de congelados tripulación	DANFOSS	TES-2	1	66	66
Evaporador gambuza de vegetales y frescos pasaje	FRIMETAL	MVG-80	1	850	850
Termostática gambuza de vegetales y frescos pasaje	DANFOSS	TES-2	1	66	66
Evaporador gambuza de vegetales y frescos tripulación	FRIMETAL	MVP-64	1	650	650
Termostática gambuza de vegetales y frescos tripulación	DANFOSS	TES-2	1	66	66
Evaporador gambuza seca	FRIMETAL	MVG-120	1	950	950
Termostática gambuza seca	DANFOSS	TES-2	1	66	66
Válvula de presión constante gambuzas de frescos	DANFOSS	KVP 15	3	55	165
Termostátos	DANFOSS	EKC-201	5	120	600
Presostáto de baja	DANFOSS	KP-1	3	51,40	154,20
Presostáto de alta	DANFOSS	KP-5	3	55,30	165,30
TOTAL					15.064,5€

AA/CC central componentes principales a sustituir en caso de avería o que algún elemento este dañado para el uso del R404A

Tabla 27, Fuente propia. Coste de los componentes principales del AA/CC central

Elementos	Marca	Modelo	Cantidad	Precio unidad €	Precio total €
Compresor	BITZER	OSK-7471-K-Y	2	16.164	32.328
Condensador	INTEGASA	HACD-16-250-2	1	3.560	3.560
Evaporador	INTEGASA	PTR-45-25-4P-2C	1	1.340	1.340
Cuerpo válvulas de expansión	DANFOSS	AKV 20-4	2	1.344	2.688
Termostato	DANFOSS	EKC 201	3	140	420
Sensor de presión	DANFOSS	AKS 33	1	276	276
Sensor de temperatura	DANFOSS	AKS 11	2	196	392
Total 1 equipo					41.004
Total 3 equipos					123.012 €

AA/CC control de máquinas componentes principales a sustituir en caso de avería o que algún elemento este dañado para el uso del R404A.

Tabla 28, Fuente propia. Coste de los componentes principales del AA/CC del control de máquinas

Elementos	Marca	Modelo	Unidades en planta	Precio unidad €	Precio total €
Compresor	BITZER	4 DC-7.2Y	1	1.000	1.000
Condensador	INTEGASA	11-24-4/61	1	1.250	1.250
Presostato de baja	DANFOSS	KP-1	1	51,40	51,40
Presostato de alta	DANFOSS	KP-5	1	55,30	55,30
Válvula presión constante	DANFOSS	KVP-35	1	65	65
Total					1.321,70€

Tabla 29, Fuente propia. Coste de los Accesorios de las instalaciones frigoríficas.

Accesorios			
Marca	Unidades	Precio unidad	Importe total €
Filtro deshidratador DML 032 Danfoss	6	105	630
Separador de aceite OBU Danfoss	6	185	1.110
Separador de líquido LCY 16 Carly	6	133	798
Total			2.538 €

Tabla 30, Fuente propia. Coste del cambio de aceite compresores.

Aceite de compresores			
Marca	Unidades	Precio unidad	Importe total €
Bitzer BSE 32	6	39,20	235,20 €

6.26.1.1. Presupuesto 1A (Cambio de Refrigerante):

Para esta primera inversión, se comprarían 5 botellas de refrigerante de 25 kg a un precio la botella de 2.475,05 €

Lo que equivale a un precio final de 12.375,25 €.

La mano de obra en este primer caso no es de importancia en este presupuesto ya que solo supondría el cambio de refrigerante. Por lo tanto, el personal de a bordo, será el encargado de realizar el cambio según las indicaciones que quedan especificadas en el Anexo III.

El tiempo de instalación de un nuevo refrigerante, contando la colocación y el movimiento de la carga, viene a ser un tiempo estimado de 4 horas.

La instalación eléctrica actual de la instalación está correctamente y se puede reutilizar en su totalidad.

Gastos:

- 12.375,25 €, lo equivalente al precio de adquisición del refrigerante R404A. (IVA incluido)

6.26.1.2. Presupuesto 1B (Cambio de refrigerante y componentes esenciales)

La instalación eléctrica actual de la instalación está correctamente y se puede reutilizar en su totalidad.

La partida de personal comprende el coste de la mano de obra. La mano de obra será personal cualificado, y se intentará simultanear los trabajos para disminuir el número de días de parada de la instalación.

La jornada laboral será de ocho horas y el trabajo se realizará en un total de siete días.

Los trabajos que debe realizar la empresa contratada son:

1. Desmontar instalación antigua.
2. Montaje compresor, condensador y evaporador.
3. Pruebas instalación y purga circuito.

Estos 3 pasos se realizarán por cada instalación, son tres instalaciones diferentes:

- Gambuzas
- AA/CC Central
- AA/CC control de máquinas

Tabla 31, Fuente propia. Costes de la mano de obra.

Trabajo	Operarios	Tiempo (días)	Coste (€/hora)	Coste total €
1	2	2	25	800
2	2	2	50	1.600
3	2	1	50	800
Total 1 instalación				3.200 €
Total 3 instalaciones				9.600 €

Tabla 32, Fuente propia. Presupuesto final 1B

Presupuesto final 1B €				
Elementos	Coste Componentes	Partida del personal	Total (SIN IVA)	Total (CON IVA)
Gambuzas frigoríficas	15.064,50	3.200	18.264,50	22.100,04
AA/CC central	123.012	3.200	126.212	152.716,52
AA/CC control de máquinas	1.312,70	3.200	4.512,70	5.460,36
Accesorios			2.538	3.070,98
Aceites				235,20
Honorarios del proyectista				2.000
Total				185.583,11

6.26.2. Presupuesto caso 2

En este segundo caso de presupuesto se va a analizar el presupuesto que supondría el cambio de refrigerante en la instalación a un R409A.

Para este caso, las partes principales de la instalación, ya sea compresor, evaporador, condensador, válvulas y tuberías si es necesario sustituir por incompatibilidad con el refrigerante actual de la instalación.

- En las Gambuzas frigoríficas los componentes principales a sustituir en caso de avería o que algún elemento este dañado para el uso del R409A.

Tabla 33, Fuente propia. Coste de los componentes de las Gambuzas frigoríficas

Elemento	Marca	Modelo	Unidades en planta	Precio unidad€	Precio total €
Compresor	BITZER	SERIE OS53-85	3	1.900	5.700
Condensador	BITZER	K283HB(Y)	2	1.200	2.400
Evaporador gambuza de congelados pasaje	Friga Bohn	MRE-110	1	890	890
Termostática gambuza de congelados pasaje	SPORLAN	SERIE BQ	1	78	78
Evaporador gambuza congelados tripulación	Friga Bohn	MRE-75	1	790	790
Termostática gambuza de congelados tripulación	SPORLAN	SERIE BQ	1	78	78
Evaporador gambuza de vegetales y frescos pasaje	Friga Bohn	MRE-110	1	890	890
Termostática gambuza de vegetales y frescos pasaje	SPORLAN	SERIE BQ	1	78	78
Evaporador gambuza de vegetales y frescos tripulación	Friga Bohn	MRE-75	1	790	790
Termostática gambuza de vegetales y frescos tripulación	SPORLAN	SERIE BQ	1	78	78
Evaporador gambuza seca	Friga Bohn	MRE-135	1	1.220	1.220
Termostática gambuza seca	SPONLAN	SERIE BQ	1	78	78
Válvula de presión constante gambuzas de frescos	DANFOSS	KVP 15	3	55	165
Termostátos	DANFOSS	EKC-201	5	120	600
Presostáto de baja	DANFOSS	KP-1	3	51,40	154,20
Presostáto de alta	DANFOSS	KP-5	3	55,30	165,30
TOTAL					14.154,5€

- AA/CC central componentes principales a sustituir en caso de avería o que algún elemento este dañado para el uso del R409A

Tabla 34, Fuente propia. Coste de los componentes principales del AA/CC central

Elementos	Marca	Modelo	Cantidad	Precio unidad €	Precio total €
Compresor	BITZER	OSK8551-K	2	17.860	35.720
Condensador	BITZER	K1353T(Y)	1	3.150	3.150
Evaporador	BITZER	DH SERIE	1	1.650	1.650
Cuerpo válvulas de expansión	SPORLAN	Serie EBQ	2	1.560	3.120
Termostato	DANFOSS	EKC 201	3	140	420
Sensor de presión	DANFOSS	AKS 33	1	276	276
Sensor de temperatura	DANFOSS	AKS 11	2	196	392
Total 1 equipo					44.728 €
Total 3 equipos					134.184 €

- AA/CC control de máquinas componentes principales a sustituir en caso de avería o que algún elemento este dañado para el uso del R409A.

Tabla 35, Fuente propia. Coste de los componentes principales del AA/CC Control de máquinas

Elementos	Marca	Modelo	Unidades en planta	Precio unidad €	Precio total €
Compresor	BITZER	4TDC-12(Y)	1	3.500	3.500
Condensador	BITZER	K123H(Y)	1	870	870
Presostato de baja	DANFOSS	KP-1	1	51,40	51,40
Presostato de alta	DANFOSS	KP-5	1	55,30	55,30
Válvula presión constante	SPORLAN	SERIE BQ	1	78	78
Total					4.554,70€

Tabla 36, Fuente propia. Coste de las tuberías de la Gambuza congelados

TUBERÍAS Gambuza congelados				
Sección	Modelo	Unidades en planta	Precio unidad €/m	Precio total €
LINEA DE ASPIRACIÓN	Tubería de cobre 30 mm DIN-EN 12735-1	20 m	21,14	422,80
LINEA DE ASPIRACIÓN	Codos a 90° de cobre 30 mm	5	6,60	33
LINEA DE ASPIRACIÓN	T recta de cobre 30 mm	1	7,91	7,91
LINEA DE ASPIRACIÓN	Aislamiento FOF/Armaflex	20 m	3,11	62,20
LINEA DE LÍQUIDO	Tubería de cobre 10 mm DIN-EN 12375-1	25 m	12,31	307,75
LINEA DE LÍQUIDO	Codos a 90° de cobre de 10 mm	2	3,86	7,72
LINEA DE LÍQUIDO	T recta de cobre de 10 mm	1	5,45	5,45
TOTAL				846,83 €

Tabla 37, Fuente propia. Coste de las tuberías de la Gambuza de frescos.

TUBERÍAS Gambuza frescos				
Sección	Modelo	Unidades en planta	Precio unidad €/m	Precio total €
LINEA DE ASPIRACIÓN	Tubería de cobre 20 mm DIN-EN 12735-1	20 m	19,24	384,80
LINEA DE ASPIRACIÓN	Codos a 90° de cobre 20 mm	5	5,40	27
LINEA DE ASPIRACIÓN	T recta de cobre 20 mm	1	6,55	6,55
LINEA DE ASPIRACIÓN	Aislamiento FOF/Armaflex	20 m	3,11	62,20
LINEA DE LÍQUIDO	Tubería de cobre 10 mm DIN-EN 12375-1	25 m	12,31	307,75
LINEA DE LÍQUIDO	Codos a 90° de cobre de 10 mm	2	3,86	7,72
LINEA DE LÍQUIDO	T recta de cobre de 10 mm	1	5,45	5,45
TOTAL				801,47 €

Tabla 38, Fuente propia. Coste de las tuberías del AA/CC Central

TUBERÍAS AA/CC CENTRAL				
Sección	Modelo	Unidades en planta	Precio unidad €/m	Precio total €
LINEA DE ASPIRACIÓN	Tubería de cobre 70 mm DIN-EN 12735-1	10 m	45,70	457
LINEA DE ASPIRACIÓN	Codos a 90° de cobre 70 mm	3	15,20	45,60
LINEA DE ASPIRACIÓN	T recta de cobre 70 mm	1	21,30	21,30
LINEA DE ASPIRACIÓN	Aislamiento FOF/Armaflex	10 m	3,11	31,10
LINEA DE LÍQUIDO	Tubería de cobre 35 mm DIN-EN 12375-1	25 m	25,75	643,75
LINEA DE LÍQUIDO	Codos a 90° de cobre de 35 mm	2	8,60	17,20
LINEA DE LÍQUIDO	T recta de cobre de 35 mm	1	9,90	9,90
TOTAL 1				1225,85 €
TOTAL 3				3677,55 €

Tabla 39, Fuente propia. Costes de las Tuberías del AA/CC del control de máquinas.

TUBERÍAS AA/CC CONTROL DE MÁQUINAS				
Sección	Modelo	Unidades en planta	Precio unidad €/m	Precio total €
LINEA DE ASPIRACIÓN	Tubería de cobre 30 mm DIN-EN 12735-1	10 m	21,14	211,40
LINEA DE ASPIRACIÓN	Codos a 90° de cobre 30 mm	4	6,60	26,40
LINEA DE ASPIRACIÓN	T recta de cobre 30 mm	1	7,91	7,91
LINEA DE ASPIRACIÓN	Aislamiento FOF/Armaflex	10 m	3,11	31,10
LINEA DE LÍQUIDO	Tubería de cobre 10 mm DIN-EN 12375-1	25 m	12,31	307,75
LINEA DE LÍQUIDO	Codos a 90° de cobre de 10 mm	2	3,86	7,72
LINEA DE LÍQUIDO	T recta de cobre de 10 mm	1	5,45	5,45
TOTAL				597,73 €

Tabla 40, Fuente propia. Costes de los accesorios de las instalaciones.

Accesorios			
Marca	Unidades	Precio unidad	Importe total €
Filtro deshidratador DML 032 Danfoss	6	105	630
Separador de aceite OBU Danfoss	6	185	1.110
Separador de líquido LCY 16 Carly	6	133	798
Total			2.538 €

Tabla 41, Fuente propia. Coste del aceite de las instalaciones.

Aceite de compresores			
Marca	Unidades	Precio unidad	Importe total €
Bitzer BSE 32	2	39,20	235,20
Bitzer BSE 55	3	48,50	145,50
Bitzer B150SH	2	45,70	91,40
Total			472,10 €

6.26.3. Partida de personal y seguridad en el trabajo

La partida de personal comprende el coste de la mano de obra. La mano de obra será personal cualificado, y se intentará simultanear los trabajos para disminuir el número de días de parada de la instalación.

La jornada laboral será de ocho horas y el trabajo se realizará en un total de siete días.

Los trabajos que debe realizar la empresa contratada son:

1. Desmontar instalación antigua.
2. Montaje compresor, condensador y evaporador.
3. Montaje tuberías y válvulas.
4. Pintura.
5. Pruebas instalación y purga circuito.

Estos 5 pasos se realizarán por cada instalación, son tres instalaciones diferentes:

- Gambuzas
- AA/CC Central
- AA/CC control de máquinas

Tabla 42, Fuente propia. Costes de la mano de obra.

Trabajo	Operarios	Tiempo (días)	Coste (€/hora)	Coste total €
1	2	3	25	1.200
2	2	3	50	2.400
3	2	3	50	2.400
4	2	1	25	400
5	2	1	35	280
Total 1 instalación				6.680 €
Total 3 instalaciones				20.040 €

La partida de seguridad en este caso es cero ya que no son necesarios andamios, medios de elevación.

Los únicos medios de seguridad a aplicar son los EPIS de los trabajadores de la contrata, qué por ley, corren a cuenta de su propia empresa.

Para una primera inversión de este refrigerante se comprarían 5 botellas de refrigerante de 25 Kg a un precio la botella de 1550,40 €

Lo que equivale a un precio final de 7752 €.

La instalación eléctrica actual de la instalación está correctamente y se puede reutilizar en su totalidad.

6.27. Presupuesto final

Tabla 43, Fuente propia. Presupuesto final 2.

Presupuesto final 2 €					
Instlación	Coste Componentes	Coste Tuberías	Partida del personal	Total (SIN IVA)	Total (CON IVA)
Gambuzas frigoríficas	14.154,40	1.648,30	6.680	22.482,70	27.204,06
AA/CC central	134.184	3.677,55	6.680	144.541,55	174.895,27
AA/CC control de máquinas	4.554,70	597,73	6.680	11.832,43	14.317,24
Accesorios				2.538	3.070,98
Aceites					472,10
Honorarios del proyectista					2.000
Total					221.959,65

Tabla 44, Fuente propia. Comparación de presupuestos.

Comparación Presupuestos	
Presupuestos	Precio CON IVA
Presupuesto 1A	12.375,25 €
Presupuesto 1B	185.583,11 €
Presupuesto 2	221.959,65 €

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



7. CONCLUSIONES

- 1- Queda constancia que la elección de un refrigerante adecuado para una instalación es una decisión de gran importancia, donde están presentes muchos aspectos técnicos y donde no solo es el precio del refrigerante lo esencial; otros aspectos que resultan de importancia para conseguir un funcionamiento apropiado de la instalación son el cumplimiento de la legislación vigente y la realización de cálculos apropiados.
- 2- En este caso, el refrigerante elegido para mejorar la instalación es el R409A, aunque requiere una gran inversión inicial para cambiar tuberías y elementos principales. Este refrigerante es el que mejores datos obtiene en las simulaciones y por tanto el mejor refrigerante para estas instalaciones.
- 3- Un segundo refrigerante para tener en cuenta es el R404A. Esto es debido a que es un refrigerante compatible con los elementos actuales de la instalación y como se ha demostrado requiere una menor inversión que el R409A.
- 4- Queda también demostrado que el refrigerante actual el R507A es inadecuado para las instalaciones del buque, su relación entre cálculos y precio de adquisición no es la mejor.
- 5- Tanto los mantenimientos como la carga del refrigerante son apartados muy importantes en el trabajo del día a día para el personal de máquinas. Unos manuales claros, con ilustraciones y referencias paso a paso de como realizar los trabajos es de vital importancia. Es el Anexo IV donde se ha intentado explicar estos procesos de la manera mas simple y siguiendo las instrucciones de los fabricantes.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. “Guía practica para la selección de los elementos de una instalación frigorífica”.
Editorial: Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla.
Autor: De la Oliva Carmona, J. F. (2009).
2. “Principios de refrigeración”.
Editorial: Méjico: Cecsa.
Autor: J. Dossat, R. (1999).
3. “Instalaciones frigoríficas tomos I y II”.
Editoraial: Barcelona: Marcombo Boixareu.
Autor: J. Rapin, P. (1999).
4. The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Handbook 2002.
5. Danfoss <http://www.danfoss.com/spain/>
(Consulta: Mayo - Septiembre 2021).
Fabricante recambios industriales de refrigeración.
6. SOLKANE <https://solkane-refrigerants.software.informer.com/8.0/>
(Consulta: Mayo – Septiembre 2021).
Programa simulación de descarga gratuita.
7. Libro de apuntes de la asignatura de REFRIGERACIÓN del cuarto curso en ingeniería Marina,
Autor: Profesor Alfredo Trueba.
(Consulta: Mayo – Septiembre 2021)
8. Real Decreto 552/2019, de 27 de septiembre, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias
(Consulta: Mayo – Septiembre 2021)
9. Fichas técnicas: (Consulta Mayo – Septiembre 2021)
<https://gas-servei.com/shop/docs/ficha-tecnica-r-507a-gas-servei.pdf>
https://www.simagas.es/pdf/gases_refrigernates/Ficha-tecnica-R134A.pdf
<https://gas-servei.com/shop/docs/ficha-tecnica-r-404a-gas-servei.pdf>
<https://es.climalife.dehon.com/uploads/product/media/document/r-409a-fp-en.pdf>
10. Reglamento de seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas (RSF)(Real decreto 13P/2011)
(Consulta Mayo – Septiembre 2021)
11. “Refrigeracion industrial”.
Editorial Paraninfo.
Autor: Conan, J. C. (1990).

12. “El empleo del frío en la industria de la alimentación”.
Editorial: Reverté.
Autor: Plank, Rudolph (2005).

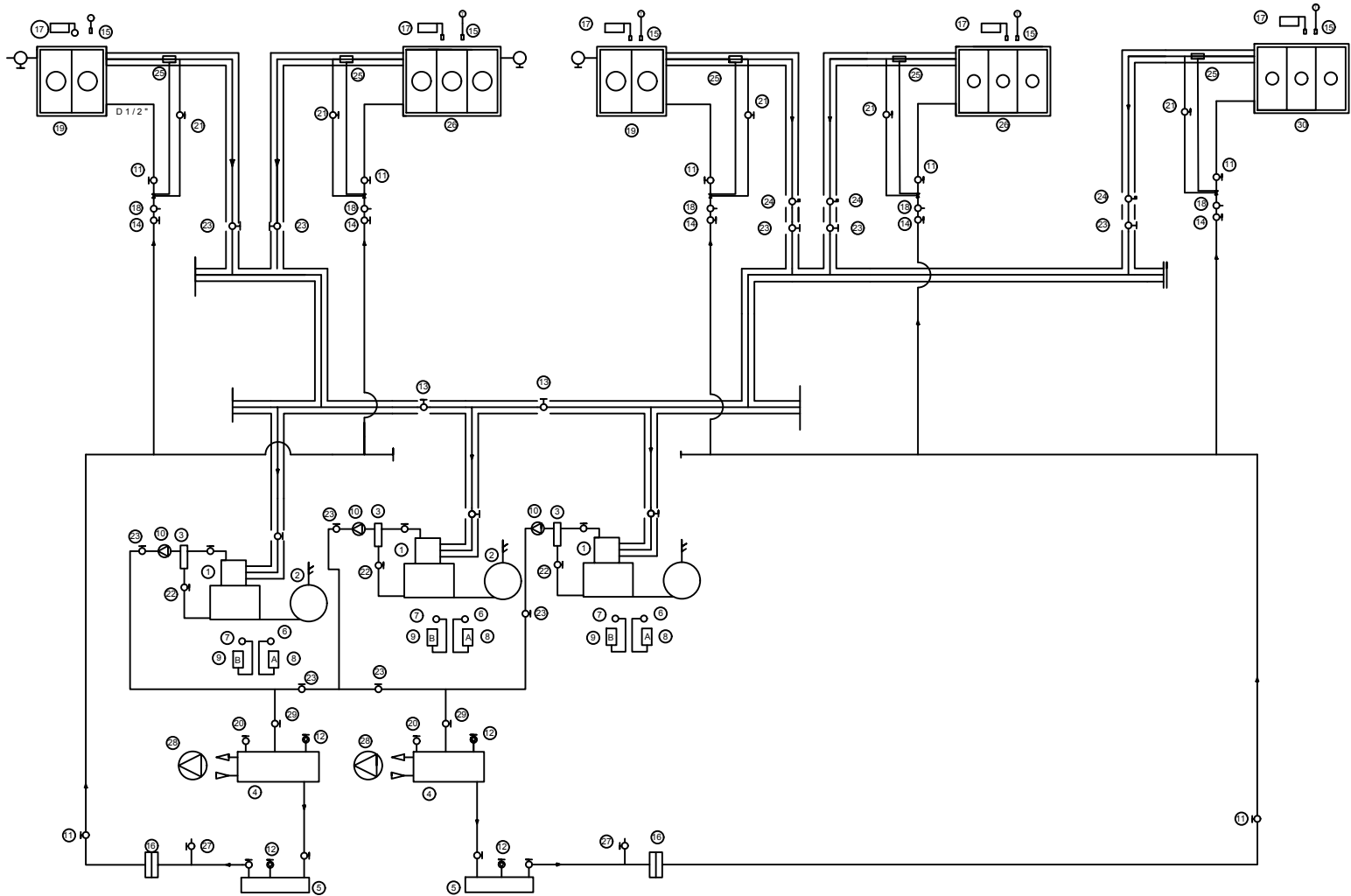
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado.

9. ANEXO I PLANOS INSTALACIONES FRIGORÍFICAS

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	MODELO	MARCA	OBSERV.
30	1	EVAPORADOR	MVG 120	FRIMETAL	
29	2	VÁLVULA MANUAL	3/4"-3/4"	CASTEL	
28	2	ELECTROBOMBAS	CP40/130	AZCUE	
27	2	VÁLVULA MANUAL	1/4 "	CASTEL	
26	2	EVAPORADOR	MVP-64	FRIMETAL	
25	5	VÁLVULA EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA	TES-2	DANFOSS	
24	3	VÁLVULA PRESIÓN CONSTANTE	KVP15	DANFOSS	
23	9	VÁLVULA MANUAL	5/8 "	CASTEL	
22	3	VÁLVULA MANUAL	1/4"-3/8"	CASTEL	
21	5	VÁLVULA MANUAL	1/4 "	CASTEL	
20	2	VÁLVULA MANUAL	1/2 "	CASTEL	
19	2	EVAPORADOR	MVG-80/E	FRIMETAL	
18	5	VÁLVULA SOLENOIDE	EVR6	DANFOSS	
17	5	TERMÓMETRO/TERMOSTATO	EKC-201	DANFOSS	
16	2	FILTRO DESHIDRATADOR	DCL 164	DANFOSS	
15	5	TERMÓMETRO	ST100		
14	5	VÁLVULA MANUAL	3/8 "	CASTEL	
13	2	VÁLVULA MANUAL	7/8 "	CASTEL	
12	4	VÁLVULA DE SEGURIDAD	3/8"-1/2 "	CASTEL	
11	7	VÁLVULA MANUAL	1/2 "	CASTEL	
10	3	VÁLVULA DE RETENCIÓN	5/8 "	CASTEL	
9	3	PRESOSTATO BAJA PRESIÓN	KP1 (60-1101)	DANFOSS	
8	3	PRESOSTATO ALTA PRESIÓN	KP5 (60-1173)	DANFOSS	
7	3	MANÓMETRO DE BAJA PRESIÓN	-1/+10		
6	3	MANÓMETRO ALTA PRESIÓN	-1/+25		
5	2	RECIPIENTE DE LÍQUIDO HORIZ.	RL-20-H		
4	2	CONDENSADOR DE FREON	CFB-11-10-2/6	INTEGASA	
3	3	SEPARADOR DE ACEITE HELEICOIDAL	S-5185	AC&R	
2	3	MOTOR ELECTRICO	MZAA	ABB	
1	3	COMPRESOR	IV	BITZER	

UC

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Universidad de Cantabria

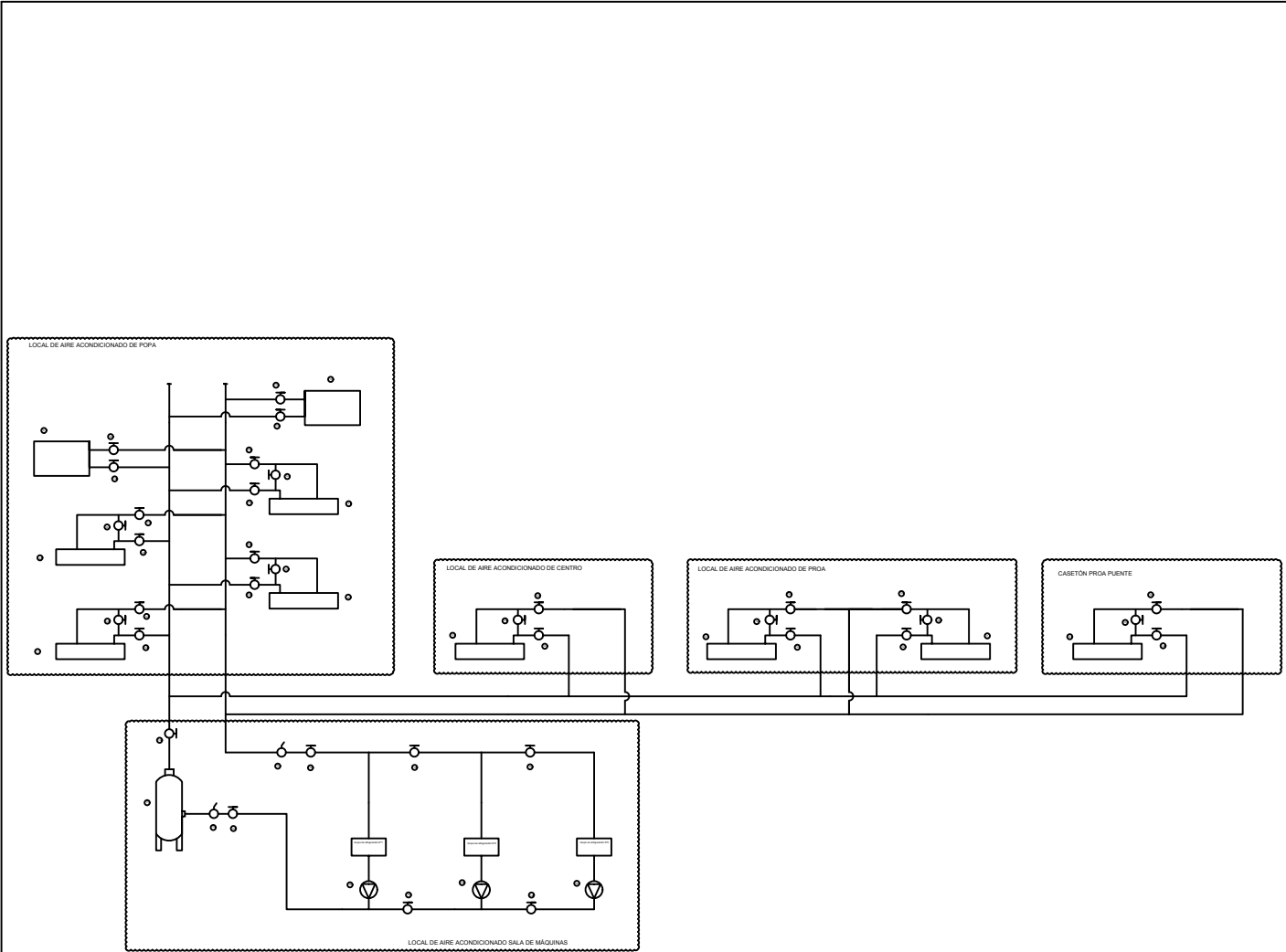
Denominación

ESQUEMA FRIGORIFICO GAMBUZAS

Fecha:

Nombre: Autor TFG

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



14	35	VÁLVULA MANUAL	1/ 2"	CASTEL	
13	2	VÁLVULA DE SEGURIDAD	1/ 2"	CASTEL	
12	3	ELECTROBOMBA	CP40/130	AZCUE	
11	1	DEPÓSITO			
10	1	SISTEMA FAN COILS			
9	1	SISTEMA FAN COILS			
8	1	UNIDAD CLIMATIZADORA	CL-2012/1-A	TERMOVEN	
7	1	UNIDAD CLIMATIZADORA	CL-2018/1-AE	TERMOVEN	
6	1	UNIDAD CLIMATIZADORA	CL-2020/3-AE	TERMOVEN	
5	1	UNIDAD CLIMATIZADORA	CL-2025/2-A	TERMOVEN	
4	1	UNIDAD CLIMATIZADORA	CL-2012/1-A	TERMOVEN	
3	1	UNIDAD CLIMATIZADORA	CL-2012/1-A	TERMOVEN	
2	1	UNIDAD CLIMATIZADORA	CL-2018/2-AE	TERMOVEN	
1	1	UNIDAD CLIMATIZADORA	CL-2020/2-AE	TERMOVEN	
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	MODELO	MARCA	OBSERV.

UC

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

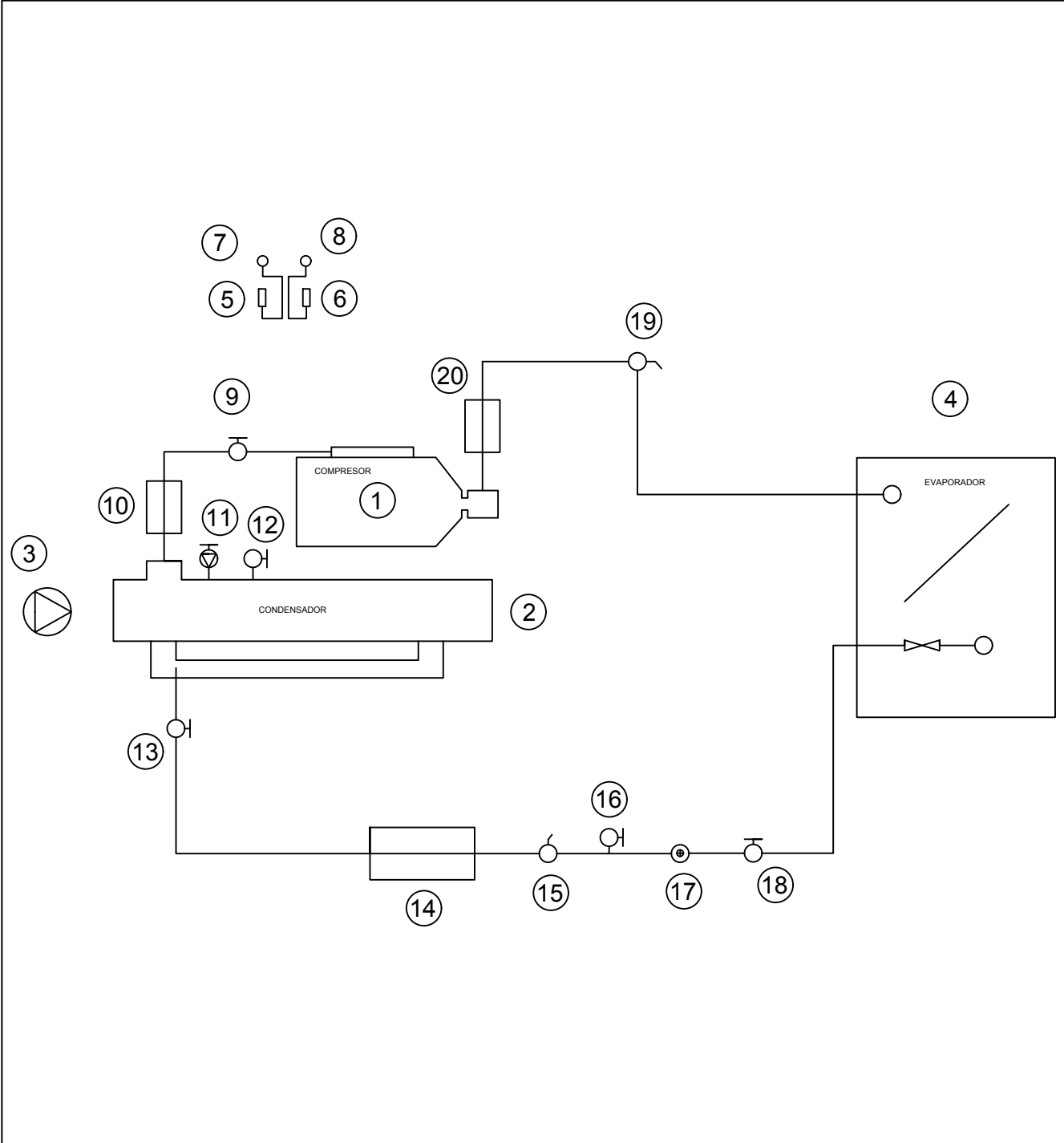
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

ESQUEMA FRIGORÍFICO AA/CC CENTRAL BUQUE

FECHA

AUTOR

Autor TFG



20	1	UNIÓN FLEXIBLE	1 3/8"		
19	1	VÁLVULA DE PRESIÓN CONSTANTE	KVP-35	DANFOSS	
18	1	VÁLVULA DE MANUAL	6420/5	CASTEL	
17	1	VISOR INDICADOR DE LÍQUIDO	3740/5	CASTEL	
16	1	VÁLVULA OBÚS			
15	1	VÁLVULA SOLENOIDE	EVR-15	DANFOSS	
14	1	FILTRO DESHIDRATADOR	DCL 165	DANFOSS	
13	1	VÁLVULA DE MANUAL	6110/54	CASTEL	
12	1	VÁLVULA DE MANUAL	6110/43	CASTEL	
11	1	VÁLVULA DE SEGURIDAD	3000/45	CASTEL	
10	1	UNIÓN FLEXIBLE	7/8"		
9	1	VÁLVULA DE RETENCIÓN	3120/7	CASTEL	
8	1	MANÓMETRO DE ALTA PRESIÓN	-1/+25		
7	1	MANÓMETRO DE BAJA PRESIÓN	-1/+10		
6	1	PRESOSTATO DE ALTA PRESIÓN	KP5	DANFOSS	
5	1	PRESOSTATO DE BAJA PRESIÓN	KP1	DANFOSS	
4	1	BATERÍA EVAPORADORA VERTICAL	EV-10	SOVA	
3	1	BOMBA AGUA DE CONDENSACIÓN	MN 32/230	AZCUE	
2	1	CONDENSADOR DE FREÓN	11-24-4/01	INTEGASA	
1	1	COMPRESOR DE PISTONES	4DC 7.2Y	BITZER	
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	MODELO	MARCA	OBSERV.

UC

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

DENOMINACIÓN:
ESQUEMA FRIGORÍFICO AACC CONTROL DE MÁQUINAS

AUTOR:
Autor TFG

FECHA: